

KUSSANDE VAN DIE WES-KAAP EN DIE BENUTTING  
VAN SUPERFYN-DUINSAND IN BETON

- deur -

G.F. LOEDOLFF



Proefskrif ingelewer vir die graad Doktor  
in die Wysbegeerte in Ingenieurswese  
(Siviel) aan die Universiteit  
van Stellenbosch

Promotor: Prof. F. Hugo

Stellenbosch  
November 1985

### DANKBETUIGINGS

Die skrywer wil graag hiermee sy opregte dank uitspreek teenoor die volgende.

1. Die Universiteit van Stellenbosch vir die gebruik van sy laboratoriums vir die nodige toetse.
2. Studente wat by tye behulpsaam was met toetse.
3. Die promotor Prof. F. Hugo vir sy belangstelling en aanmoediging.
4. Die Cement and Concrete Association, London waar skrywer die meeste opleiding kon ontvang, die meeste basiese agtergrond kon verkry en waar die eerste toetse gedoen is.
5. Mev. S.J. du Toit vir die netjiese tik en versorging van die proefskrif.



## OPSOMMING

'n Opname is gemaak van die kussande langs die Valsbaai-kus, die Kaapse Skiereiland en van die Weskus tot sover as Kreeftebaai en hul fisiese eienskappe is bepaal. Met kussande word hier bedoel sande in die omgewing van hoogwatermerke en nader aan die see asook die van duine vlak langs die see.

Aangesien kussande die eienaardige eienskap het van of 'n tekort of 'n oormaat sand wat deur die 0,150 mm sif gaan, is metodes gesoek waarvolgens beton en mortel mengte ontwerp kan word. Die moeilikste deel, naamlik superfyn duinsand, dit wil sê sand waarvan die fynheidsmodulus kleiner as 1,0 is, is deeglik ondersoek. Deur verpakkingsvermoëns te bepaal en verpakking stelselmatig te ondersoek, is 'n metode gevind waarvolgens mengte beoordeel kan word deur te soek na beste verpakking en laagste porositeit.

Met 'n norm beskikbaar waarvolgens mengte beoordeel kan word, is weer gekyk na graderingskurwes. Dit is gevind dat basiese graderingskurwes wel baie nuttig is en beskrywings van hoe eenvoudige basiese graderingskurwes opgestel kan word, word verduidelik. Die finale graderingskurwe van die meng, moet nou sodanig wees dat dit balanseer om die basiese kurwes. Dit blyk ook dat fyn growwe aggregraat soos 4,8 mm of 6 mm klip 'n uiters vername rol speel en veral wanneer beton gemaak moet word.

Vervolgens is ook gekyk na bloei en die bloeivermoë van duinsande. Eksterne bloeiing toon dat iets moontlik met die mengte skort, terwyl interne bloeiing die nadelige element is wat krimping vergroot en sterkte kan verlaag. Die belangrikste is egter dat die totale bloeivermoë van 'n meng vasgestel word en 'n metode is ontwikkel om juis dit te doen.

Daarna is ook gekyk na krimp en gevind dat mortels van superfyn duinsand se krimpvermoë vergroot soos die w/s verhouding groter word as 0,50. Met  $w/s = 0,50$  en kleiner, is die krimpvermoë van duinsandmenge nie beduidend verskillend van die van gewone sandmenge nie.

Ten slotte is ook gewys op die toepassings en gebruike van swakker gegradeerde duinsande in die boubedryf. Betonmenge sal byvoorbeeld anders lyk as die waaraan 'n mens gewoond is omdat hul voorkoms baie 'droog' kan wees, maar tog goed verdigbaar mag wees. Alle duinsande kan gebruik word of vir die maak van betonstene of -blokke, of vir messelwerk, of vir pleisterwerk of vir beton, maar in sommige gevalle sal hulp nodig wees in die vorm van 'n growwer of fyner sand of fyner aggregraat van 4,8 of 6 mm grootte of selfs van bymengsels soos plastiseerders.

Aangesien hierdie werk gebruik maak van heelwat begrippe en bevindings wat ontwikkel is in "Die Rol van Water in Beton"<sup>(12)</sup> deur skrywer moet genoemde publikasie saam met hierdie proefskrif gelees word.

## SYNOPSIS

A survey of the Coastal sands along the False Bay coast, the Peninsula and the West coast as far North as Kreeftebay, was made and the physical properties of the sands were determined. With coastal sands is meant the sands in the vicinity of the highest water level and nearer to the sea and that of the dunes close to the sea.

Since coastal sands have either an excess or a lack of 0,150 mm particle sizes, a method was sought by which concrete and mortar mixes could be designed. The most difficult part, namely superfine dune sand i.e. sand with a fineness modulus of less than 1.0, was thoroughly investigated. By determining the packing abilities and investigating packing step by step a method by which mixes could be judged by best packing or lowest porosity, was found.

With this norm available by which mixes could be judged, grading curves received new attention. It was found that basic grading curves could be very valuable and methods to construct basic grading curves were consequently described. The final overall grading curve of the mix must be balanced around the basic grading curve to obtain best packing. It was also apparent that fine coarse aggregate of 4,8 to 6 mm particle sizes, played a major role when concrete was to be made.

Bleeding and bleeding capacities of dune sands were also investigated. External bleeding indicates that something could be wrong with the mix, while internal bleeding is actually the detrimental factor with regard to greater shrinkage and possibly less strength. The most important aspect is therefore to determine the bleeding capacity of the mix and a method is developed to do just that.



Shrinkage was also investigated and it was found that shrinkage of superfine dune sand mortar mixes increased as the w/c ratio increased above 0,50. With w/c = 0,50 and less the shrinkage of superfine dune sand mortars was not significantly different from that of normal sand mortars.

In conclusion the applications and uses of poorly graded dune sands in the building trade, were discussed. Concrete mixes with dune sands will visually appear to be different from the concrete one is used to. It will have a drier appearance but as long as it is thoroughly compactable to a low porosity one must accept it.

All dune sands can be used in the building trade either as concrete bricks or blocks, or for mortar in bricklaying, or for plastering or rendering or for concrete but in some cases aid in the form of coarser or finer sand or of finer coarse aggregates of 4,8 or 6 mm sizes or perhaps of admixtures such as plasticisers, will be needed.

Since many of the findings and concepts developed in "Die Rol van Water in Beton"<sup>(12)</sup> by the author, are used in this work, this publication should be read in conjunction with this thesis.



## INHOUDSOPGAWE

Deel I - Kussande teen die Valsbaaikus, die Kaapse Skiereiland en die Weskus suid van Kreeftebaai.

### Bladsy

#### Hoofstuk I - Opname van Kussande van die Weskaap.

1.0	Bestek	1
1.1	Sandbehoefte in die Weskaapgebied	1
1.2	Huidige bronne	4
1.3	Toekomstige bronne	6
1.3.1	Binnelands	6
1.3.2	Seesand uit die see	7
1.3.3	Duine en waaisand	7
1.3.4	Rotssand	9
1.4	Gevolgtrekkings	9

#### Hoofstuk 2 - Sand om Valsbaai en langs die Weskus.

2.0	Inleiding	11
2.1	Waar kom sand vandaan?	12
2.1.1	Sand van die land	13
2.1.2	Sand van die see	14
2.1.3	Skulpsand	17
2.1.4	"Sand" van ruggraatlose seedier-skelette	20
2.2	Algemene eienskappe	22
2.2.1	Relatiewe digthede	22
2.2.2	Droë los volume digthede	22
2.2.3	Persentasie CaCO <sub>3</sub> of skulp in sand	24
2.2.4	Persentasie chloriedes	25
2.2.5	Spesifieke oppervlakte	27
2.2.6	Vorm volgens die Pettijohn-skaal	29
2.2.7	Gradering en fynheidsmodulus	30
2.3	Gevolgtrekkings	36

## Deel II - Superfyn duin- en kussande as beton aggregraat.

### Bladsy

### Hoofstuk 3 - Korrelstuiting en gradering.

3.0	Inleiding	42
3.1	Teorie in verband met korrelstuiting	44
3.1.1	Dilatasie	45
3.1.2	Weymouth se teorie van korrelstuiting	46
3.1.3	Gebreke in die Weymouth teorie	49
3.1.4	Butcher en Hopkins se benadering	49
3.1.5	Hughes se benadering	50
3.1.6	Toepasbaarheid van die Weymouth, Butcher en Hopkins en die Hughes metodes	51
3.2	Verpakking	53
3.2.1	Vereistes vir goeie verpakking	54
3.2.2	Gebroke of sprong-gradering	56
3.2.3	Verdunning en opvulling	59

### Hoofstuk 4 - Verpakking.

4.0	Verpakkingstoetse	61
4.1	Apparaat wat gebruik is en toetsmetode	61
4.2	Werkwyse	67
4.3	Die resultate van die toetse	71
4.3. 1	Growwe sand en duinsand	72
4.3. 2	Duinsand en sement	73
4.3. 3	Growwe sand en sement	74
4.3. 4	Optimum duin- en growwe sand en sement	75
4.3. 5	Duinsand en 4.8mm klip	76
4.3. 6	Growwe sand en 4.8mm klip	77
4.3. 7	Duinsand en 12mm klip	77
4.3. 8	Growwe sand en 12mm klip	78
4.3. 9	4,8mm klip en 12mm klip	79
4.3.10	Optimum duin- en growwe sand met optimum 4,8 en 12mm klip	80
4.3.11	Optimum 4,8 en 12mm klip en 19mm klip	80
4.3.12	12mm klip en 19mm klip	81

4.3.13	Optimum duin- en growwe sand en 4,8 en 12mm klip teenoor 19mm klip	81
4.3.14	Optimum 12 en 19mm klip teenoor 4,8mm klip	81
4.3.15	4,8mm klip en 19mm klip	82
4.3.16	Optimum growwe aggregaat en optimum fyn aggregaat	82
4.3.17	Twee praktiese gevalle	83
4.3.18	Optimum sand met 19mm klip en optimum duinsand en 4,8mm klip	83
4.3.19	Optimum growwe en optimum fyn toeslag teenoor sement	85
4.3.20	Optimum fyn toeslag en optimum 19mm klip teenoor sement	86
4.3.21	Optimum growwe sand en 19mm klip teenoor sement	87
4.3.22	Optimum growwe sand en optimum growwe toeslag teenoor sement	88
4.3.23	Optimum 19mm klip met optimum duinsand en 4,8mm klip teenoor sement	88
4.3.24	Optimum duinsand en 4,8mm klip met optimum 12mm klip teenoor sement	89
4.4	Gevolgtrekkings in verband met verpakking	90

## Hoofstuk 5 - Gradering.

5.0	Graderingskurwes	98
5.1	Die Mercer-kurwes	100
5.2	Fuller-kurwes	101
5.3	Die voorgestelde basiese kurwe	103
5.4	Bespreking van die resultate	105
5.5	Gevolgtrekkings	113
	Basiese graderingskurwe	
(1)	Fyn toeslag	113
(2)	Growwe toeslag	114
(3)	Gesamentlike fyn en growwe toeslag	115
5.6	Voorgestelde mengontwerp metode	117



Hoofstuk 6 - Bloei van beton.

6.0	Bloei - algemeen	120
6.1	Bloei probleme	123
6.1.1	Afwerkings probleme	124
6.1.2	Plastiese kraake	124
6.1.3	Ander bloei probleme	127
6.2	Metodes om bloei van beton te meet	125
6.3	Kleefwater wat agterbly in 'n meng	130
6.4	Kleefwater en spesifieke oppervlakte	
6.5	Gevolgtrekkings	146

Hoofstuk 7 - Krimping van beton en mortel.

7.0	Krimping	150
7.1	Krimpteorie en agtergrond	150
7.1.1	Hidrasie en krimping	150
7.1.2	Die invloed van bewegende water	155
7.1.3	Aanvanklike water in die beton	160
7.1.4	Die $\text{Ca}(\text{OH})_2$ probleem	161
7.2	Bespreking van krimp toetse soos voorgestel in figure M.1 tot M.6	164
7.2.1	Krimp van pasta, mortel en beton	164
7.2.2	Motivering van toetse op mortel en van metode aangewend	168
7.2.3	Kommentaar oor die kurwes	171
	(a) Kurwes met $W/S = 0.50$	171
	(b) Kurwes met $W/S = 0.60$	175
	(c) Kurwes met $W/S = 0.70$	176
7.3	Algemene bevindings	177
7.4	Gevolgtrekkings en riglyne	180

Hoofstuk 8 - Samevatting en gevolgtrekkings.

8.0	Samevatting	183
8.1	Voorkoms	183



Bladisy

8.2	Kenmerkende eienskappe van kussande in die Weskaap gebied	184
8.3	Meng ontwerpe	185
8.3.1	Verpakking	185
8.3.2	Gradering	187
8.3.3	Betonmenge	188
8.3.4	Bloeiprobleme	191
8.3.5	Krimping	193
8.3.6	Toepassings	194
	(a) Betonstene of -blokke	194
	(b) Mortel en dagha in messelwerk	195
	(c) Vir pleisterwerk	196
	(d) Vir beton	196
	Verwysings	198

BYLAES

Bylae A	- Plekke waar monsters geneem is	A.1
	Besonderhede van monsters by monssterneming plekke	A.2-A.4
Bylae B	- Fisiese eienskappe van kussande	
	Tabelle van sandbesonderhede	B.1-B.3
Bylae C	- Metode om $\text{CaCO}_3$ (skulp) inhoude te bepaal	C.1-C.3
	Fig C.1 $\text{Ca}^+$ atoom absorpsie kurwe	C.4
Bylae D	- Metode vir bepaling van chloriede inhoude	D.1-D.2
Bylae E	- Bepaling van spesifieke oppervlaktes van die sande	E.1-E.4
	Fig. E.1 Permeabiliteitsapparaat met manometer en vloeimeter	E.4

Bladsy

Bylae F - Mikroskoop ondersoeke en die Pettijohn-skaal	F.1
Fig. F.1 Die Pettijohn-skaal van rondheid	F.2
Foto's van tipiese sandmonsters Fig. F.2-F.9	F.3-F.4
Bylae G - Graderingskurwes van kussande	
Fig. G.1-G.24	G.1-G.6
Bylae H - Graderingskurwes van die materiale wat gebruik is	
Fig. H.1-H.5	H.1-H.3
Bylae J - Verpakkingskurwes	
Fig. J.1-J.28	J.1-J.7
Tabel J.1	J.8
Bylae K - Graderingskurwes	
Fig. K.1-K.22	K.1-K.6
'n Monsterberekening van 'n tipiese meng-ontwerp	K.7-K.10
Bylae L - Bloei en kleefwatervermoë	
Fig. L.1-L.9 Adsorbeerde water in verskillende	
menge	L.1-L.3
Fig. L.10 Adsorbeerde water teenoor kleinste	
ruimteverhouding	L.3
Fig. L.11 Spesifieke oppervlakte by beste	
verpakking	L.3
Fig. L.12 Spesifieke oppervlaktes teenoor	
adsorbeerde water per vaste volumes	L.4
Bylae M - Swel- en krimpkurwes	
Fig. M.1-M.2 vir mortel met W/S = 0.50	M.1-M.2
Fig. M.3-M.4 vir mortel met W/S = 0.60	M.3-M.4
Fig. M.5-M.6 vir mortel met W/S = 0.70	M.5-M.6
Fig. M.7 samevattende skematiese voorstelling	
van swel en krimp	M.7

TABELLEBladsy

1.1	Sementverkope in die Kaapse Skiereiland	3
1.2	Sementverkope in die RSA	3
4.1	Persentasie sement teenoor watervereiste en sementinhoud per m <sup>3</sup> beton	86
4.2	Persentasie sement per totale absolute volume teenoor watervereiste en sementinhoud per m <sup>3</sup> beton	87
4.3	Persentasie sement per totale absolute volume teenoor watervereiste en sementinhoud per m <sup>3</sup> beton	87
4.4	Persentasie sement per totale absolute volume teenoor watervereiste en sementinhoud per m <sup>3</sup> beton	88
4.5	Persentasie sement per totale absolute volume teenoor watervereiste en sementinhoud per m <sup>3</sup> beton	89
5.1	Watervereiste van verskillende duin- en seesand menne onder optimum toestande	110
6.1	Fisiese eienskappe van materiale en sement wat gebruik is vir adsorbeerde- of kleefwater metings	132
6.2	Kleefwatervermoë wanneer die totale kleefwater gelyk is aan die watervereiste van die meng	139
6.3	Kleefwatervermoë teenoor spesifieke oppervlaktes	144
7.1	Benaderde tye benodig om tussengreinporieë te blokkeer	155
7.2	Mortelmengte gebruik vir die toetse	170

FIGURE

Bladsy

3.1	Eenvoudige twee-dimensionele model vir beskrywing van dilatasie	45
3.2	Dilatasie en die "rollaer" effek	46
3.3	Korrelstuiting model	47
3.4	Weymouth se korrelstuiting maatstaf soos aangepas deur Butcher en Hopkins	50
3.5	Gradering en sprong-gradering	57
4.1	Apparaat waarmee verpakkingstoetse gedoen is	62
4.2	Tipiese verpakkingskurwe van twee monsters	68
4.3	Skematiese voorstelling van die toetsprogram	71



## DEEL 1

### KUSSANDE TEEN DIE VALSBAAIKUS, DIE KAAPSE SKIEREILAND EN DIE WESKUS SUID VAN KREEFTEBAAI

#### - HOOFSTUK 1 -

#### OPNAME VAN KUSSANDE VAN DIE WESKAAP

##### 1.0 Bestek:

Die gebied wat hier ter sake is, is die Kaapse Skiereiland en omstreke asook die Weskusgebied net Noord van Kaapstad. Sien Bylae A. Daar sal oorsigtelik gekyk word na sandbehoeftes, huidige bronne en die potensiaal van seesande rondom die Kaapse kus en die Weskus noord van Kaapstad.

Alle sand is nie ewe geskik vir beton-, messel- en pleisterwerk nie. Waar sandbronne skaars word, word dit noodsaaklik dat sand van minderwaardige gehalte met betrekking tot fynheid en gradering meer aandag verdien sodat hulle ook benut kan word. In die laaste deel van hierdie verhandeling sal spesifiek ingegaan word op metodes hoe om sulke minderwaardige sand en superfyn oftewel uitermate fyn duinsand ten beste te benut.

##### 1.1 Sandbehoeftes in die Weskaapgebied:

Die stygende behuisingsnood met die gepaardgaande benodigde infrastruktuur, plaas in toenemende mate druk op die beskikbare hulpbronne en op die verskaffing van grondstowwe. Een van die basiese grondstowwe waarsonder daar geen

vooruitgang en verdere bouwerk moontlik is nie, is sand oftewel die fyn aggregraat in beton of die toeslag in mortel vir pleister- en messelwerk.

Hoewel die fyn aggregraat kunsmatig vervaardig kan word deur rots te maal, is dit ondenkbaar dat natuurlike sand in sy geheel vervang sal kan word deur rotssand. Rotssand kan wel 'n nuttige rol speel in die aanvulling van fyn aggregraat en kan selfs fyn aggregraat in beton vervang, maar dit is ondenkbaar dat dit natuurlike sand geheel en al sal vervang as toeslag in pleister en mortel. Die produksiekoste van goeie rotssand is hoog sodat dit waarskynlik vir 'n lang ruk nog lonend sal wees om goeie sand liewers oor groter afstande aan te voer.

'n Tydige vooruitskouing, beplanning en benutting van die beskikbare sandbronne het dus 'n nuwe vlak van belangrikheid bereik. Dit is ook nodig dat 'n voorraadopname gemaak word en dat gekyk word na die sandbehoefte en beskikbare voorrade oor die volgende paar dekades.

Om 'n begrip te kry van die volumes waarmee rekening gehou sal moet word, kan die sandbehoefte desnoods gekoppel word aan die sementverbruik in daardie betrokke gebied. Die sementverkope in die Kaapse Skiereiland-gebied oor die laaste 10 jaar word in tabel 1.1 gegee.

Volgens die syfers in tabel 1.1, blyk dit dat daar 'n relatiewe groot wisseling in verkope is, maar met 'n stygende neiging. Voorspellings vir toekomstige gebruik is dus onbetroubaar, maar as die gemiddelde geneem word van 1973 - 1983 byvoorbeeld, kom dit neer op 'n gemiddelde sementverbruik van 408 309 ton per jaar. Hierdie syfer sal stellig aanmerklik styg oor die volgende paar dekades, veral as in ag geneem word dat die huisbou-programme versnel moet word om in toekomstige behoeftes te voorsien.

Jaar	Verbruik (ton)	Jaar	Verbruik (ton)	Jaar	Verbruik (ton)
1971	301 856	1976	479 046	1981	440 880
1972	283 821	1977	402 958	1982	395 539
1973	382 899	1978	363 222	1983	372 479
1974	468 487	1979	343 433		
1975	465 218	1980	377 243		

**Tabel 1.1:** Sementverkope in metrieke ton in die Kaapse Skiereiland-gebied.<sup>(1)</sup>

Tabel 1.2 dui die totale verkope in die R.S.A. aan vir die tydperk 1974 - 1983 en weerspieël 'n soortgelyke neiging as die in tabel 1.1.

1974	6,962	1979	6,067
1975	6,897	1980	7,368
1976	6,676	1981	8,107
1977	5,983	1982	7,978
1978	5,802	1983	8,022

**Tabel 1.2:** Sementverkope in die R.S.A. in miljoen metrieke ton ( $\times 10^6$ ).<sup>(1)</sup>

Sement Sales<sup>(1)</sup> voorspel dat in die jaar 2 000 die totale sementverkope in die R.S.A. sal styg tot  $14,6 \times 10^6$  ton. Dit wil dus voorkom dat die verkope in die Skiereiland-gebied moontlik ook die 800 000 ton perk sal kan bereik in die jaar 2000.



Gestel 75%<sup>(45)</sup> van die sement word vir gewapende beton, spanbeton en voorafvervaardigde beton-eenhede gebruik en dat 25% gebruik word vir messelwerk, pleisterwerk en sementstene. Veronderstel ook dat gemiddeld 6 sakkies sement per  $\text{m}^3$  beton gebruik word en dat ongeveer 6 sakkies sement per  $\text{m}^3$  mortel of pleister gebruik word. As die sandinhoud van beton ongeveer  $800 \text{ kg/m}^3$  beton is en die van mortel en pleister ongeveer  $1\,800 \text{ kg/m}^3$  mortel en die los volume digtheid  $1\,600 \text{ kg/m}^3$ , kom dit daarop neer dat gemiddeld  $513\,900 \text{ m}^3$  sand jaarliks gebruik word vir beton en  $384\,700 \text{ m}^3$  sand jaarliks gebruik word vir mortel en stene wanneer  $408\,309$  ton sement verbruik word. Die totale droë sand verbruik is dus ongeveer  $898\,600 \text{ m}^3$  per jaar en as aangeneem word dat klam sand 'n skynbaar groter volume het, kan die syfer maklik styg tot gemiddeld  $1\,000\,000 \text{ m}^3$  sand per jaar.

Die drastiese styging in die prys van sement sal meebring dat betonmeng ontwerpe veel meer aandag sal geniet en dat materiale meer ekonomies gebruik sal word sodat die effektiewe gebruik van sement kan afneem en die sandverbruik sneller kan toeneem as die toename in sementverkope. As hierdie argument deurgevoer word, beteken dit dat in die jaar 2000 kan sand benodig word teen 'n jaarlikse tempo van meer as  $1\,000\,000 \text{ m}^3$  per jaar.

## 1.2 Huidige bronne:

Sand word tans verkry van:

- (a) Riviere, byvoorbeeld die Bergrivier, die Dieprivier en tot 'n mate van die Eersterivier;
- (b) Putsandbronne in die Klapmutsgebied; en
- (c) Sand van die Kaapse vlakte.



Die rivierbronne is egter nie onuitputlik nie en hoewel hul jaarliks tot 'n mate aangevul word tydens vloede in die winter, kan hulle nie onbeperk sand voorsien nie en moet noodwendig slegs beperkte hoeveelhede lewer. Die Eersterivierbronne is reeds so uitgeput dat Stellenbosch en omstreke nou hoofsaaklik Kaapse vlakke sand gebruik.

Putsandbronne in die Klapmutsgebied is reeds uitgeput. Die sandlaag is vlak en grondeienaars moet om begryplike redes sandverwydering staak omdat landbougrond vernietig word in die proses.

Die Kaapse vlakke bron het nog steeds 'n relatief hoë potensiaal. Die feit dat in talle gevalle sand van 'n swakker gehalte gelewer word, dui reeds op 'n hoë stremming op hierdie bron en dat bronne van goeie sand tekens van uitputting toon. As die hele Weskaap egter in die toekoms uit hierdie bron voorsien moet word, sal sy beperktheid ook spoedig ondervind word en sal meer en meer sand van minderwaardige gehalte gebruik moet word.

'n Groot deel van die Kaapse vlakke in die Philippilansdown-Killarney gebied en 'n strook parallel aan die Kuilsrivier van Brackenfell tot by Faure beskik oor uitstekende glassand<sup>(2)</sup>. Hierdie gebiede is afgemerk vir die glasbedryf, hoewel 'n groot gedeelte reeds bebou is. Op die orige deel mag nie gebou word nie en die oppervlaksand wat nie vir glas gebruik kan word nie sal moet teruggeplaas word nadat die glassand verwyder is.

Die Kaapse vlakke is ook die logiese uitbreidingsgebied van groter Kaapstad, sodat meer en meer grond bebou sal word en die bronne-gebied laat krimp. As pogings slaag om die Kaapse vlakke gebied te ontwikkel as 'n waterreservoir vir Kaapstad, kan dit weereens meebring dat gebiede gereserveer moet word met die moontlike beperkings op sand verwydering.

Die groter bewustheid vir die bewaring van die natuur en die Ekologie, kan ook meebring dat sandbronne verder aan bande gelê word.

Wanneer al die faktore in ag geneem word is die toekoms vir die Kaapse vlakte as sandbron glad nie so rooskleurig as wat algemeen aanvaar word nie. Feit bly egter dat steeds meer en meer gebruik gemaak sal moet word van minderwaardige sand en dat alle beskikbare sand bruikbaar gemaak sal moet word.

### 1.3 Toekomstige bronne:

Die Kaapse vlakte kan sekerlik nog vir 'n aantal jare sand voorsien, hoewel dit verwag word dat die kwaliteit van die sand aansienlik sal daal. Dit is dus noodsaaklik om'n bietjie verder te kyk na moontlike toekomstige bronne.

#### 1.3.1 Binnelands:

Die gebied Darling-Hopefield het beslis goeie vlak putsand neersettings. Die afstand vanaf die Skiereiland en hoër vervoerkoste, mag die ontwikkeling van sulke bronne belemmer. Meer waarskynlik is egter dat grondeienaars enige beskadiging van landbougrond deur sandverwydering, sal verhoed. Vir toekomstige oorlewing sal dit onwys wees om hierdie bronne te ontwikkel, want voedsel produksie mag in die toekoms belangriker wees as natuurlike sand-produksie.

Grootskaalse sandverwydering in die gebiede sal ook die Ekologie van die gebiede nadelig tref en die Weskaap kan dit nie bekostig om woestynggebiede te skep nie. Enige toekomstige bronne, selfs naby die kus, sal dus rekening moet hou met die Ekologie van die gebied.



### 1.3.2 Seesand uit die see onder hoogwatermerk ontgin:

Hierdie bron is nog totaal onontwikkeld in die Weskaap en moet beskou word as die laaste reserwe bron. Veral teen die Weskus tussen Melkbosstrand en Yzerfontein is daar groot onbenutte strandgebiede waar groot hoeveelhede sand onder hoogwatermerk verwyder kan word.

Wanneer oorgegaan word tot sand uit die see, sal 'n veel dieper studie as hierdie onderneem moet word om die lewensvatbaarheid van sulke bronne te bepaal. Hierdie voorlopige studie kan egter gebruik word om gebiede met potensiaal te identifiseer.

### 1.3.3 Duine en waaisand:

Onbeboste duine en veral die wat neig om te "loop" is eerder 'n oorlas as 'n bate. Verwydering van hierdie sand kan nie die natuur skend of die Ekologie versteur nie, sodat die benutting van duinsand na regte voorkeur moet geniet. Met sekere voorbehoude kan beboste duine hierby ingesluit word, mits hul verwydering met oorleg geskied en sonder om die natuur te veel te skaad.

Duinsand word hoofsaaklik deur wind gesorteer en afgeset in die vorm van duine. Duinsand word allerweë beskou as minderwaardige sand weens sy egalige korrelgroottes, kort graderingsgebied en dikwels weens sy fynheid. Skulpinhoud word ook dikwels voorgehou as 'n probleem, maar dit sal later getoon word dat dit in werklikheid geen probleem behoort te wees nie en veral in die duin- en kussande van die Weskaap. Tog kan hierdie skynbaar waardelose produk met sekere voorbehoude en aanpassings met vrug gebruik word. Kennis van die regte tegnieke om die sand te benut is in sekere opsigte nog onvoldoende, veral waar dit kom by die benutting van superfyn of uitermate fyn sand, dit



wil sê sand waarvan die fynheidsmodulus (FM) kleiner as 1,0 is.

Superfyn sand kan, soos later getoon sal word, met die regte aanvoeling en aanpassings tog wel nuttig gebruik word. Dit sal weliswaar nie alle natuurlike sand verplaas nie, maar as nuttige aanvulling kan dit die lewensduurte van bestaande bronne verleng. Dit kan ook nuttig gebruik word saam met sand van duine wat groter korrels bevat of waar growwer seesand van die kus verwyder kan word.

Groot hoeveelhede superfyn sand kan van die duine by Llandudno verwyder word sonder beskadiging van die natuur en dit mag selfs blyk 'n bate te wees as die lopende sand op die wyse gestuit kan word. Netso is daar ontsaglike duine wat Wes van Atlantis lê en as totaal nutteloos beskou word. As hierdie sand nuttig gebruik kan word, kan dit selfs die groeipotensiaal van Atlantis stimuleer.

Die aanwending van duinsand vereis spesiale aandag en mengontwerpe sal met groter omsigtigheid moet geskied. Die Sjinese<sup>(18)</sup> gebruik fyn waai- en fyn putsand al sedert die dertigerjare as fyn aggremaat in beton, terwyl die Israeli's ook toegewys is op waai- en fyn putsand (blykbaar nie so fyn as die van die Sjinese) as hul enigste sandbronne. Hierdie sandsoorte is blykbaar nie so fyn soos die by Llandudno, Atlantis en dele van die Weskus en die superfyn sand aan die Valsbaaikus nie, maar tog fyn genoeg om die meeste mengontwerpers tweemaal te laat dink.

As aanvullings- en verbeteringsmateriaal moet duinsand en selfs superfyn duinsand beskou word as 'n sterk potensiële bron wat wag om ontgin te word.

#### 1.3.4 Rotssand:

Rotssand verkry as neweproduk by die breek van rots vir growwe aggregaat in beton, word reeds in sekere gevalle benut. Die vorm en tekstuur van die korrels is egter van swak gehalte sodat verbruikers nie oorywerig is om dit te benut nie. Die gevare van Alkalie-aggregaat reaksie van sement met hoër alkalie-inhoude, is beslis ter sake wanneer dit kom by rotssand verkry van die Malmesbury series en hoornfels. Hierdie gevare is egter minder by rotssand verkry van graniet. Navorsing<sup>(3)</sup> by die N.B.N.I. Pretoria, het bevestig dat duinsand en kussande geen gevaar inhou vir Alkalie-aggregaat reaksies nie. Doelbewuste rotsvergruising om sand te produseer is nog nie ekonomies nie.

Hierdie tipe sand sal sekerlik nie alle natuurlike sand kan vervang nie en veral waar dit kom by messel- en pleisterwerk. Sy aanwending sal dus beperk bly tot aanvulling van gewone sand of verbetering van swakgegradeerde sand. Die oordeelkundige gebruik van hierdie afvalproduk kan dus die lewensduurte van huidige sandbronne verleng en moet nie summier afgeskryf word nie, behalwe as daar wel gevaar is van Alkalie-aggregaat reaksie met sement.

Die potensiaal van hierdie sandbron as neweproduk gereken, bly egter beperk.

#### 1.4 Gevolgtrekkings:

Die algemene gevolgtrekkings kan dus soos volg opgesom word:

- (a) Huidige goeie sandbronne sal nie onbeperk goeie sand kan lewer nie.

## - HOOFSTUK 2 -

### SAND OM VALSBAAI EN LANGS DIE WESKUS

#### 2.0 Inleiding:

Sandmonsters is op verskeie plekke langs die Valsbaaikus, die Noordwes kus van die Kaapse skiereiland en langs die Weskus tot by Kreeftebaai, gedurende Augustus 1977 geneem.

Ongeveer 10 kg monsters is geneem op minstens 3 plekke:

- (a) onder hoogwatermerk tot 'n diepte van 150 mm;
- (b) op ongeveer hoogwatermerk tot 'n diepte van 200 - 250 mm; en
- (c) gewoonlik op die top van die naaste duin tot 'n diepte van 500 mm.

Om die terminologie reg te kry, sal sande onder hoogwatermerk beskou word as seesand, sand op ongeveer hoogwatermerk as strandsand en sand op die duine gewoonlik vlak teen die see, as duinsand. Die hele groep, naamlik seesand, strandsand en duinsand vlak langs die see, sal na verwys word as kussande.

Dikwels is ook verdere monsters binnelands geneem soos byvoorbeeld by die duine by Llandudno, die Atlantis duine en die duine Noord van Yzerfontein. Gewoonlik is gesoek na plekke met 'n sandbron potensiaal, maar in enkele gevalle is tussenin punte ook geneem om te probeer vasstel of daar 'n patroon is ten opsigte van korrelgroottes, graderings, skulpinhoud, chloriedes en korrelvorms.

'n Verdere oorweging was om die geaardheid van die



- (b) Swakker sandsoorte met swakker gradering sal meer en meer benut moet word.
- (c) Waaisand, duinsand en superfyn duinsand sal meer en meer benut moet word en die tegnologie om hierdie sandsoorte ten beste te benut moet verder ondersoek en ontwikkel word.
- (d) Sand verwyder van onbeboste duine sal nie noodwendig die Ekologie van die gebied skaad nie, maar kan soms die gebied bevoordeel.
- (e) Seesandbronne en sand onder die Hoogwater-merk, veral teen die Weskus, verdien verdere ondersoek en besit blykbaar 'n groot potensiaal.
- (f) Sand uit die see in die omgewing van Macassar en Houtbaai verdien ook verdere ondersoek.
- (g) Die Weskusgebied Noord van Melkbosstrand mag in die toekoms die alternatief wees vir Kaapse vlakke sand.
- (h) Binnelandse putsandbronne moet tot 'n groot mate as beperk beskou word en sal nooit groot voorsieners van goedkoop sand word nie.
- (i) Riviersandbronne bly beperk en hul voorsieningspotensiaal is waarskynlik reeds bereik.

binnelandse sand te probeer vasstel met die veronderstelling dat die kussand moontlik die geaardheid van die aangrensende sand sal verraa. Aangesien slegs belang gestel is in die kussande, is binnelandse bronne dus nie ondersoek nie, behalwe waar daar groot onbeboste duine was. Die standpunt wat gehuldig is, was dat sand in die omgewing van en onder die hoogwatermerk moontlik verwyder kan word indien 'n kusbron ontwikkel sou word. Die inligting ingesamel, kan egter benut word om moontlike bronnegebiede langs die kus waar verdere ondersoeke dan gemaak kan word, te identifiseer.

Aangesien sand van 'n redelike gehalte, behalwe in die geval van Macassar, heelwat Noord van Melkbosstrand en ongeveer 50 - 60 km vanaf Kaapstad voorkom, word verwag dat vervoerkoste hierdie bron se ontwikkeling sal vertraag. Die huidige nood skyn egter te wees om sand van swakker gehaltes te benut en om agter te kom hoe hulle ten beste benut kan word. Gevolglik is, wat beskou word as die moeilikste van die sandsoorte, naamlik superfyn oftewel uitermate fyn duinsand, gekies om te bestudeer. Met superfyn duinsand word hier bedoel sand met 'n fynheidsmodulus kleiner as 1,0. Die studie en resultate word in Deel II beskryf.

In Bylae A word op 'n kaart getoon waar die monsters geneem is, terwyl die fisiese eienskappe volledig getabuleer word in Bylae B.

## 2.1 Waar kom sand vandaan?:

Gewone sand is die produk van verweerde stollings, sedimentêre en metamorfiese gesteentes. Seesand bevat ook skulp wat deur die see fyngemaal en poleer is asook skelette van ruggraatlose seediertjies, byvoorbeeld afkomstig van sponse, koraal, ensovoorts.

kwarts as die hoofbestanddeel bevat. Die feit dat glassand in die Kaapse vlakte meer as 99%<sup>(11)</sup> suiwer silika bevat, bewys dat die verweerde produkte met groter korrels van graniet en in die besonder TBS, hoofsaaklik kwarts bevat.

### 2.1.2 Sand van die See:

Behalwe vir die Skalties tussen Gordonsbaai en Macassar, is die rotse langs en in die see redelik glad en van 'n geronde vorm. Verwering en produksie van sand uit rots, word oorwegend verwag vlak langs die see waar seesproei, golfaksie en kristallisasie van sout in die rotsporieë gesien moet word as die grootste bydraende faktore. Die verweringsgebied is egter klein in vergelyking met binnelandse produksie gebiede van sand, sodat hierdie bydrae sekerlik as relatief klein beskou moet word.

See- en golfaksie dien eerder om rots en sandkorrels te verklein deur vermaling en polering sodat moeilik geglo kan word dat hierdie aksies self veel sand van growwer korrelgroottes kan produseer. Seestrome in die omgewing van die kus kan moontlik sand kuslangs vervoer, maar versitting van sand langs die kus moet eerder toegeskryf word aan golfaksie. Die hoek wat die golwe met die kus maak, bepaal tot watter mate sand langs die kus versit word. Golwe loodreg op die kus veroorsaak hoofsaaklik 'n see-in en see-uit beweging van sand sodat min sortering van fyn tot growwe materiaal voorkom.<sup>(45)</sup> Derhalwe kan verwag word dat sulke sande oor 'n groter graderingsbestek sal beskik as 'n sandleweringsbron daar naby voorkom.

Golwe wat skuins op die kus aanloop, sal sand kuslangs versit en die fyner dele sal derhalwe makliker beweeg as die growwer dele. In hierdie gebiede kan dus growwer sand met korter graderingsbestekke verwag word. Die fyner sand



beweeg dan na gebiede waar die golfrigtings meer loodreg op die kus is of na waar sand versitrigtings teenmekaar bots. Hierdie toestand moet verwag word in baaie en inhamme en word bevestig deur die feit dat die seesand by die Strand en ook Yzerfonteinstrand baie fyner is as die sand verder langs die kus.

Indien sandtoevoerbronne soos riviere, nie sand naby of in so 'n gebied waar die golfrigtings loodreg op die kus aanloop, lewer nie, moet verwag word dat die sand in sulke gebiede baie fyn sal wees, meer gerond en sal beskik oor 'n kort graderingsbestek. Dit moet dus verwag word dat gebiede met sand van verskillende korrelgroottes en graderings langs 'n kus gevind sal word.

'n Kusbron wat dus ontwikkel word, moet so geplaas wees dat hy onder die sand-versitrigting lê sodat die golwe die verwyderde sand kan aanvul. As dit aan die verkeerde kant van die sand se beweegrigting lê, kan dit gouer uitgeput word.

Sandbeweging in en uit die see kom ook voor soos die seisoene en die golwe se golflengtes verander met seisoene. Die Winter seisoen word algemeen gekoppel aan korter golflengtes wat neig om die kus weg te vreet en die sand seewaarts te verplaas. Die langer golwe tydens die Somer werk weer die sand landwaarts sodat die kus weer opgebou word. Hierdie verskynsel is veral sigbaar in gebiede waar golwe loodreg op die kus aanloop. Dit beteken dus dat hierdie sand aan 'n verlengde poleringsproses onderwerp word en gevolglik nie alleen fyner is nie, maar ook meer gerond en gepoleer.

Sand wat see-toe gewaai word deur wind, word aan 'n verdere polerings-siklus onderwerp voordat dit teruggeplaas word op die duine. Duinsand is dus oor die

algemeen meer gerond as die sand net langs die see. Fyner sandkorrels word blykbaar vinniger afgerond en poleer as growwe korrels, omdat hulle onder 'n mikroskoop baie meer gerond voorkom as die growwer korrels. Aangesien wind die fyner sand ook makliker vervoer, moet verwag word dat die duine se sand fyner sal wees as die langs die kus en dat korrelgrootte sortering nou deur wind geskied. Die resultaat is weer dat fyn sand met 'n relatiewe kort graderingsbestek verkry word.

Oor die algemeen is ook gevind dat in gebiede waar die sand langs die see gesorteer en relatief grof is, daar ook duine langs die see voorkom met relatiewe fyn gesorteerde sand. Beide die sand langs die see en op die duine beskik oor kort maar soms verskillende graderingsbestekke van hoogstens 3 sifgroepe. 'n Kombinasie van seesand en duinsand kan dus 'n beter produk lewer as of die seesand of die duinsand alleen. As die duine bebos is, sal 'n mens nie graag sulke duine wil verwyder nie, maar verwyderbare duinsand mag moontlik nader aan die gebruikspunt voorkom en 'n besparing op vervoerkoste meebring as slegs die growwer sand ver vervoer word.

In die ondersoek is gevind dat die sand regoor die Milnertonse kus uiters lae kalk ( $\text{Ca CO}_2$ ) inhoude het met 4,5% kalk in die duinsand en 9% op en onder hoogwatermerk. 'n Soortgelyke verskynsel kom voor in die Swartklip-Strand-fontein gebied. Net Wes van Swartklip is 'n sand monster uit die wal langs die kus naby hoogwatermerk geneem. Hierdie monster het slegs 4,5% kalk ( $\text{Ca CO}_3$ ) bevat en regoor Strand-fontein het die sand onder hoogwatermerk 10% kalk en bo hoogwatermerk en op die duin daarlangs 10% kalk bevat. (Bylae B - Nr. 8 en 13.)

'n Moontlike verklaring van hierdie verskynsel is dat die glassand strook oor die Kaapse vlakte juis vanaf die



Milnerton gebied tot by die Valsbaai kus strek. By Milnerton is daar blykbaar nie veel beweging van sand parallel aan die kus nie, omdat die golwe loodreg op die kus aanloop, sodat die glassand teenwoordigheid blykbaar regoor die bron bly. By Swartklip is die toestand effens anders deurdat slegs die baie lae persentasie kalk in die wal afkomstig van 'n vroeëre afsetting voorkom. Die seesand en duine het weer hul redelik hoë persentasies kalk, naamlik 35% langs die see en 50% op die duine. Dit toon dat hoër kalkhoudende sand wel aangevoer is deur kusversetting en dat die duine hoofsaaklik afhanklik is van sand vanaf die see. Die hoër persentasie kalk op die duin kan moontlik ook gekoppel word aan die seisoensbeweging van sand see-in waar die effens ligter skulpmateriaal makliker vervoer word.

Die lae persentasies kalk by Noordhoek langs die NW-kus van die Skiereiland moet toegeskryf word aan die sterk bron van TBS in die omgewing. Terselfdertyd is dit ook 'n baai en 'n gebied waar golwe loodreg op die kus aanloop en dus natuurlikerwys fyn sand en die duursaamste bestanddeel van die kussand, naamlik kwarts sal versamel.

### 2.1.3 Skulpsand:

Skulpsand sal beskou word as sterk skulp materiaal wat deur die see gemaal en poleer is in kleiner korrels soortgelyk aan sand. Hierdie bestanddeel van seesand is solied, goed gepoleer en glad en neig soms tot effens skerwerige vorms as die skulpdele neig om groot te wees. Aangesien hierdie bestanddeel van kussand suiwer  $\text{CaCO}_3$  is, kan dit bevraagteken word waarom daar soms beswaar gemaak word teen skulp-bestanddele in sand en nie teen kalksteen sand nie. Die skulpbestanddele in kussand het werklik deur die meule van die natuur gegaan en tog anderkant uitgekom en hul kwaliteit getoon. Dit lyk of



besware teen skulpmateriaal in sande van die Weskaap ongegrond is en dit is die oorwoë mening van die skrywer dat skulpmateriaal in die kussande van die Weskaap nie as sulks enige sand hoef te diskwalifiseer nie. Indien besware teen moontlike vog absorpsie en korrelvorm ingebring kan word, is dit 'n ander saak.

Skulp teenwoordigheid in growwe aggregraat waar plat stukke skulp en heel skulpe van verskillende sterktes en in verskillende toestande van verwering voorkom, kan werkbaarheid, verdigting en uiteindelik moontlik sterkte beïnvloed en sal sekerlik nie so baie welkom wees in beton nie. Dieselfde geld vir sand wat verweerde ongepoleerde skulpskerwe bevat. Hierdie skulp kom van ligter en dunner gebreekte skulp wat deur die wind weggewaai is en het nie deur die meule van die natuur gegaan nie.

As verder aanvaar word dat vir beton van gemiddelde sterkte, die sterkte van die aggregraat min bydra tot die sterkte van die beton, dan wil 'n mens saamstem met die Britte<sup>(4)</sup> dat veel meer skulp toegelaat kan word in die aggregraat as wat huidige spesifikasies neig om voor te skryf. Chapman en Roeder<sup>(4)</sup> het byvoorbeeld tot 80% skulp, blykbaar tweemaal soveel as wat die Greater London Council toelaat, gebruik en geen probleme met sterkte ondervind nie. Ook die ander eienskappe van beton het geen noemenswaardige afwykings getoon nie. Hierdie standpunt word ook bevestig deur die WNNR ondersoek<sup>(5)</sup> na seesand vir boudoeleindes. Davis<sup>(6)</sup> en andere<sup>(7)</sup> bevestig ook hierdie standpunt dat skulp nie die eienskappe van beton beduidend beïnvloed nie.

Volgens SABS 1083/76<sup>(8)</sup> moet aggregraat wat meer as 30% gebreekte skulp bevat, getoets word vir aanvaarbaarheid as beton materiaal. Niks word gesê van gepoleerde skulpsand nie en 'n mens neig om die spesifikasie te vertolk dat 30%

skulp die veilige grens is. Daar is min bewyse om hierdie vrees te regverdig.

Soos getoon deur die WNNR<sup>(5)</sup> en andere is 'n meer bepalende faktor in seesand waarskynlik die chloriede inhoud van die sand. SABS 1083/76<sup>(8)</sup> stel 'n perk op 0,01% chloriedes per massa aggregraat vir Spanbeton en 0,03% vir alle ander beton.

Poreuse aggregraat en veral verweerde skulp sal moontlik chloriedes vashou en die hoeveelheid chloriedes mag desnoods 'n aanduiding gee van hoeveel vog die monster kan absorbeer. Dit is ook getoon dat chloriede-inhoude maklik verlaag kan word deur die sand te was. Aangesien seesand en duinsand redelike eweredige korrelgroottes bevat met klein graderingsbestekke, is verpakking gewoonlik swak en is die tussenruimte verhoudings ook relatief groot. Water beweeg dus redelik maklik deur en uit hierdie sand sodat beton met hierdie sandsoorte as fyn aggregraat, ook sigbaar meer bloei. Soos later getoon sal word, moet hierdie sigbare bloei ook grootliks gekoppel word aan die hoë watervereiste van die sandsoorte en die oormaat water wat benodig word om die beton werkbaar te kry.

Sand met kort graderingsbestekke sal dus makliker was en toelaat dat water vinnig wegdreineer word. Duine sal dus as gevolg van reën makliker ontslae raak van oormaat chloriedes en dit is ook deurgaans gevind dat die chloriede inhoude van sand veral by gestabiliseerde duine, redelik laag is en maklik binne die veilige perk van 0,01% kan val. Aangesien die sandmonsters gedurende die middel tot laat Winter geneem is, kan verwag word dat die duine redelik gewas moes gewees het.

In enkele monsters is ook mikrospiraal skulpies wat slegs onder 'n mikroskoop sigbaar is, gevind. Hulle voorkoms



was egter so min dat hulle nie as 'n faktor beskou kan word nie. Sulke skulpies word slegs by toeval gevind en die talle monsters wat mikroskopies ondersoek is, het slegs 4 sulke skulpies opgelewer. Hoewel hierdie skulpies sonder veel moeite vergruis kan word, het hul volmaakte vorm hul tog in staat gestel om die maal- en poleringsproses te oorleef.

Kalksteen self en derhalwe skulp, het 'n redelike lae uitsettingskoeffisiënt (UK) van ongeveer  $5,5 - 7 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  terwyl kwarts se UK  $\approx 10 - 12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  is. In warm-koud-warm siklusse kan hierdie verskil in UK's teoreties moontlik die verweringsproses van beton bespoedig, maar of dit werklik die geval is, word sterk betwyfel, veral as in gedagte gehou word dat die totale persentasie kalk of skulp redelik laag is. Die UK van sement pasta  $\approx 15 - 20 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  is byna anderhalf keer so groot as die van kwarts sodat groot verskille in die bestanddele van beton reeds voorkom. Dit is net by hoër temperature waar probleme moontlik kan voorkom, want dit is bekend dat beton met kalksteen as aggregraat vervaardig, tot 40% van sy sterkte kan verloor as die temperatuur styg tot bo  $70 ^\circ\text{C}$ .

#### 2.1.4 "Sand" van ruggraatlose seedier-skelette:<sup>(9)</sup>

Die vermoë om  $\text{Ca CO}_3$  te vervaardig, is nie net tot skulpdiere, slakke en mossels, beperk nie. Ruggraatlose seediere soos sponse byvoorbeeld, besit die vermoë om selfs suiwerder  $\text{Ca CO}_3$ , kalsiet, te vervaardig. die selle van sulke diere is slap en sou maklik inmekaar val as dit nie gesteun word nie. Die hoof-funksie van die selle is om water met voedsel voorrade en suurstof deur te laat sodat die voedsel daaruit verwyder kan word. Die ondersteunings om die selle oop te hou is lang naaldagtige spicules wat in verskillende vorms voorkom. Die



langbenige tetrapod-vormige spicules is van suiwer deursigtige kalsiet en kom voor in gewone kalsiet seewater sponse. Langbenige sesstralige spicules van suiwer silika word weer gekoppel aan diepsee- en varswatersponse en hierdie sponse staan dan ook bekend as silikasponse. Die horingsponse wat algemeen huishoudelik gebruik word, bestaan uit 'n netwerk horingagtige vesels wat chemies verwant is aan sy en horing, maar bevat geen spicules nie.

'n Interessante bevinding was dat gebreekte kalsiet spicules slegs teen die NW-kus van die Kaapse Skiereiland, dit wil sê van Kommetjie tot by Milnerton, gevind is. Kalsiet sponse kom blykbaar vry algemeen in hierdie kusgebied voor. Die grootste konsentrasie is by Llandudno gevind waar die sand na raming moontlik 5% en selfs meer spicule-naalde bevat. Hul kom ook net in die baie fyn duinsand voor. Die lang bene is gebreek en die langste lengtes gemeet was ongeveer 3 mm. Die gemiddelde lengtes word geskat op 1 mm, terwyl hul diktes redelik konstant is en ongeveer 0,06 mm in deursnee. Elke naald is absoluut rond en bevat 'n baie dun buisie in sy middel; dus feitlik 'n dikwandige buis. (Sien Bylae F vir foto's.)

Alle  $\text{CaCO}_3$  is dus nie skulp nie en wanneer toetse vir  $\text{CaCO}_3$  gedoen word, sal kalsiet spicules ook hul bydrae lewer. Net soos vir skulpsand word hulle ook as sterk en weervas beskou, hoewel hul vorm werkbaarheid en verpakking sal benadeel.

Anemone sowel as sy verwante korale en seekastaiings produseer ook kalkagtige strukture en stekels wat deur golfaksie opgebreek en poleer word. Slegs in enkele gevalle is voorwerpies wat lyk na kastaiingstekels in sand langs die see gevind sodat hul bydrae tot sand as uiters gering geskat word.

## 2.2 Algemene eienskappe:

Die fisiese eienskappe van die kussande wat ondersoek is, is weergegee in Bylae B.

'n Kritiese beskouing van Bylae B lei tot die volgende samevattende begrippe.

### 2.2.1 Relatiewe digtheid (RD):

Die relatiewe digtheid van die sande wat ondersoek is, wissel gemiddeld van 2,64 - 2,71. Kwarts se RD H 2,63 terwyl skulp se RD wissel van 2,66 vir sagter gebreekte skulp tot 2,74 vir harde gepoleerde skulp. Skulpteenwoordigheid stoot dus die RD van die sand op as die hoofbestanddeel van die sand kwarts is. Dit toon verder dat daar nie veel ander swaarder minerale teenwoordig is wat die RD van die monsters drasties verander nie. Mikroskoop ondersoeke het ook nie veel ander minerale getoon nie. Die hoofsaaklike teenwoordigheid van kwarts verklaar ook waarom die kussande langs die Weskus so wit is.

### 2.2.2 Droë los volume digtheid (DLVD):

Die droë los volume digtheid van 'n sand toon tot 'n groot mate hoe goed die korrels in daardie sand verpak. 'n Groot verskeidenheid van korrelgroottes sal dan ook beter verpak, minder tussenruimtes laat en 'n groter DLVD gee. Aangesien die relatiewe digtheid van die sande nie grootliks verskil nie, beteken dit dat die hoër DLVD waardes dui op 'n beter klas sand wat gradering betref. In sandsoorte waar die korrels naastenby ewe groot is en wat kort graderingsbestekke het, moet verwag word dat die tussenruimte verhouding sal styg en dat verpakking sal afneem sodat laer DLVD waardes verkry word. Laasgenoemde skyn veral die geval te wees by baie fyn sand.



Die hoogste waardes in die omgewing van 1 500 tot 1 600 kg/m<sup>3</sup> is gemeet langs die Valsbaaikus van Macassar tot Strandfontein. Ander plekke waar hoër waardes verkry is, is in die omgewing van Melkbosstrand en langs die kus van Silwerstroomstrand, Tygerfontein en tot net Suid van Yzerfontein waar die waardes gewissel het van 1 500 - 1 700 kg/m<sup>3</sup>. Die Melkbosstrand gebied moet egter uitgeskakel word as 'n toekomstige bron weens sy beperkte voorrade en om ekologiese redes.

Van al die bronne wat ondersoek is, lyk dit of bronne Noord van Melkbosstrand en Suid van Yzerfontein die meeste belofte inhou. Hoewel die graderingsbestekke nog klein is, is dit geleë oor die groter sifgröottes sodat aanvulling van superfyn sand uiters voordelig kan wees. Die skulp inhoude is ook nie uitermate groot nie. Skulp wat in hierdie sande voorkom, is hard en goedgepoleer en kan sekerlik bydra tot beter verpakking hoewel sommige skulp deeltjies neig om plat, skerwerig dog afgerond en glad te wees.

In hierdie gebiede is dit veral die sand wat onderkant die hoogwatermerk lê wat die grootste verpakkingswaardes gee en wat skynbaar ook die grofste is. 'n Soeker na toekomstige kusbronne kan dus op hierdie kusstrook konsentreer met intensiewe prospekterdery.

Die Macassar-Strandfontein gebied hou ook groot belofte in, veral as sand uit die see verwyder sou word. Dit word verwag dat meer en meer strandoorde langs hierdie deel van die Valsbaaikus ontwikkel sal word, sodat sand verwydering op die kus self en landwaarts nie groot moontlikhede inhou nie en waarskynlik beperk is. Sand verwydering uit die see mag meer belofte inhou. Hierdie sand is naby die verbruikpunte en regverdig ook intensiewer prospektering.



### 2.2.3 Persentasie $\text{CaCO}_3$ of skulp in sand:

(Sien Bylae C vir die bepaling van  $\text{CaCO}_3$  inhoude.)

Aangesien daar geen harde kalksteen in die gebied voorkom nie, is die enigste  $\text{CaCO}_3$  wat in die sand voorkom, afkomstig van skulp of seediere. Skulp kom hoofsaaklik in twee vorms voor, naamlik:

- (a) groot gebreekte en ongepoleerde skulp; en
- (b) skulpsand wat bestaan uit fyner skulp wat goed geslyp en gepoleer is.

In 'n normale sandherwinningsproses is dit relatief maklik om die growwe skulp uit te sif, selfs met 'n redelik growwe sif, omdat die skulpskerwe groot is. Die besware teen skulp in sand is blykbaar teen hierdie growwe dele gerig. Skulp sal sekerlik die water-absorpsievermoë van die aggregraat verhoog, veral as dit spiraalskulpies is en die werkbaarheid nadelig tref as te veel plat skerwe voorkom. Dele van hierdie skulp is meestal in 'n verweerde en selfs sagte vorm sodat 'n mens dan met reg bekommerd kan wees oor hul teenwoordigheid in die sand. Oorsee is getoon dat die sterkte van beton nie veel benadeel word deur selfs groot hoeveelhede skulp nie, sodat matige hoeveelhede van hierdie skulp aanvaarbaar behoort te wees. (26)

Skulp wat nie goed geslyp is nie, bevat dikwels ook 'n dun verweerde lagie kalk. Hierdie verweerde lagie is nie alleen 'n bron van groter water absorpsie van die sand nie, maar hou ook meer chloriedes vas sodat die Chloriede inhoud van sand kan styg.

In die meeste gevalle is die skulpinhoud die grootste onder hoogwatermerk. By hoogwatermerk is die inhoude normaalweg 'n bietjie laer en wanneer 'n mens by die duine kom, neig dit om verder af te neem. Die feit dat soveel gepoleerde skulp nog in die duine voorkom en selfs ver van die see af soos by Atlantis, toon dat hierdie soort skulp ook redelik weervas is. Nog 'n rede waarom sand op grond van sy skulpinhoud nie uitgeskakel behoort te word nie.

Slegs in die geval van Llandudno is gevind dat die skulpinhoud aansienlik hoër is op die duine as in die sand langs die kus. die sand langs die see is ook redelik grof sodat aangeneem word dat wind die fyner dele uitsorteer en binnelands gevoer het. Skulp wat makliker vermaal as kwarts, sal dan ook gouer afgebreek word in kleiner deeltjies wat deur die wind weggevoer kan word. Die hoër persentasie kalsiet spicules moet natuurlik ook in gedagte gehou word, aangesien hulle nie om die growwe sand langs die see gevind is nie.

#### 2.2.4 Persentasies chloriedes:

(Sien Bylae D vir die metode waarvolgens chloriedes bepaal is.)

Sandmonsters wat onder hoogwatermerk geneem is, moet noodwendig meer chloriedes bevat as die wat kans gekry het om deur die natuur gewas te word. Tog verskil die hoeveelhede chloriedes onder hoogwatermerk van plek tot plek en wissel van 0,349% tot 0,051% met 'n gemiddelde van 0,122% van die massa van die sand. Hierdie verskil moet toegeskryf word aan die chloriedes wat hoofsaaklik deur die skulp vasgehou word. Waar die persentasies skulp laer is, is die chloriede inhoude ook laer as die skulp goed gepoleer is, maar as die skulp nie gepoleer is nie, is die kanse goed dat meer chloriedes kan voorkom. Die voorkoms



van hoër persentasies chloriedes behoort egter nie 'n onoorkombare struikelblok te wees nie, want soos reeds getoon deur Davis<sup>(6),(7)</sup> en andere<sup>(5)</sup> is dit redelik maklik om chloriedes uit sand te was.

By hoogwatermerk is die sand dikwels so gewas dat dit van die meeste van die Chloriedes ontslae geraak het. In hierdie gebied het die chloriedes dan ook gewissel van 0,060% tot 0,004% met 'n gemiddelde van 0,017% per massa sand. Die sandmonsters is gedurende die winter geneem sodat verwag kan word dat hierdie syfers ietwat hoër kan wees gedurende die somer wanneer dit min reën. Die feit dat die gemiddelde chloriede inhoude soveel laer is as die onder hoogwatermerk, toon weer dat chloriedes maklik uitwas.

Die persentasies chloriedes op ongeveer hoogwatermerk is so laag dat daar geen probleme in verband met chloriedes behoort te wees nie en dit lyk of 'n mens maklik binne die 0,03% perk kan bly en in sekere gevalle selfs binne die 0,01% perk. Oor die algemeen is ook gevind dat chloriede persentasies laer is langs die Weskus, dit wil sê langs die Atlantiese oseaan as langs die Valsbaaikus. Die rede hiervoor moet blykbaar gesoek word by die afgerondheid en gepoleerdheid van die korrels. Korrels langs die Atlantiese oseaan is oor die algemeen baie meer afgerond en gepoleer as die langs die Valsbaaikus.

Soos reeds genoem, het die sand langs die kus redelike kort graderingsbestekke met gevolglike groot tussenruimte verhoudings wat dreinerings vergemaklik en aanmoedig. Derhalwe moet verwag word dat die sand maklik sal was en ontslae raak van sy chloriedes, veral as die korrels nog goed gepoleer is soos langs die Weskus en min vatplek bied aan chloriedes.



Sandmonsters op die duine geneem toon dat die was-proses redelik goed gevorder het. Die chloriede inhoude is drasties verlaag en het gewissel van 0,016% tot 0,007% met 'n gemiddelde van 0,005% per massa sand, wat baie laer is as wat normaalweg toegelaat word. Wat chloriedes betref is duinsand veilig om te gebruik. Selfs in die somer word nie probleme voorsien nie, want toevoer van sout deur kondensasie is uiters gering. Soutkondensasie is meer waarskynlik gedurende die Winter, maar die groter wasvermoë van die reën sal enige kondensasie uitwas.

Die Kaapse vlakte en ook die Weskus gebied Noord van Melkbosstrand is bekend vir sy ondergrondse varswater wat tot naby die see voorkom. Sout wat afdreineer deur die sand, word weer ondergronds teruggevoer see-toe sodat daar geen opbou van soute in die duine gebiede voorkom nie. Alle sand bokant die hoogwatermerk word dus effektief deur die natuur gewas.

#### 2.2.5 Spesifieke oppervlakte:

(Sien Bylae E vir die bepaling van die spesifieke oppervlaktes.)

Soos verduidelik in Bylae E, is die apparaat wat gebruik is, 'n aangepaste model van die Lea en Nurse apparaat wat gebruik word om die spesifieke oppervlakte van sement te bepaal. Die lengte van die monster wat getoets word, is heelwat langer gemaak en so is ook die kapillêre buise verleng om groter akkuraatheid te verseker. Oor die algemeen het die apparaat redelik goed gewerk en redelik goeie waardes is veral vir die fyn sand gekry. Die waardes vir die heel growwe sand is miskien nie so betroubaar nie, maar hul orde groottes is tog aanvaarbaar.

Deur al die sand met dieselfde apparaat te toets, kry 'n mens darem 'n idee van die fynheid van die sand en tot 'n mate ook van hoe gepoleerd die sandkorrels is. Geronde gepoleerde sand het 'n kleiner spesifieke oppervlakte as 'n ander sand met dieselfde fynheid en gradering, maar met skerper ongeslypte korrels. Dit is ook gevind dat fyner sand met 'n laer fynheidsmodulus dikwels 'n effens laer spesifieke oppervlakte waarde het as 'n sand met effens groter fynheidsmodulus terwyl die teenoorgestelde waar behoort te wees. Die verskil moet toegeskryf word aan die gerondheid en gepoleerde vorm van die sand.

Hierdie verskynsel word veral opgemerk as sande wat onder hoogwatermerk, op hoogwatermerk en op duine daarnaas met mekaar vergelyk word. Hoe verder die sand van die see voorkom, hoe meer afgerond en gepoleerd is dit. Sand binne bereik van die see is nog onderworpe aan die slyp en poleer proses en dit moet dus verwag word dat die wat reeds weggewerk is van die see, nie meer onderwerp word aan slyping en polering nie en dat hul prosessering afgehandel is.

Geronde korrels verpak ook makliker en beweeg ook makliker oormekaar in 'n verpakkings- of verdigtingsproses. Daarby word ronde korrels ook makliker gesmeer deur water, wat verdere verpakking aanmoedig. Skerphoekige klip korrels word moeilik deur water gesmeer en dit sal ook later getoon word dat 'n oormaat water eerder swakker verpakking in die hand werk as verbeterde verpakking.

Hierdie verskynsel is nie alleen by gebreekte klipgruis (growwe aggregaat) opgemerk nie, maar ook by sekere sandsoorte waar eenvormige grootte, skerp korrels voorkom. Die water verwyder blykbaar die stoflagie om elke gruisakorrel en verhoog dan die wrywing tussen die korrels.



## 2.2.6 Vorm volgens die Pettijohn-skaal:

(Sien Bylae F vir die skaal.)

Dit is 'n feitlik onmoontlike taak om die gemiddelde vorm van sandkorrels op so 'n wyse in woorde te beskryf dat die leser presies verstaan wat die skrywer bedoel. Pettijohn en Russel en Taylor het die probleem probeer oorkom deur die afronding van die korrels te stel teenoor hul gerondheid en hierdie eienskappe in syfers uit te druk. Die beskrywer besluit dan op die vorm van die gemiddelde korrel of van korrels wat die meeste voorkom, soek die ooreenstemmende korrelvorm op die kaart en dui dan die vierkant aan waarin die korrelvorm voorkom. Die leser soek dan aan die hand van die kaart die aangeduide blokkie en die ooreenstemmende vorm van die korrel en kry dan 'n begrip van wat die beskrywer bedoel het.

Afronding of mate van geslyptheid, word op die horisontale as (sê x-as) van die kaart aangedui terwyl gerondheid van die oorspronklike vorm van die korrel op die vertikale as (sê y-as) aangedui word. 'n Korrel wat goed geslyp is, sal dus 'n hoër waarde kry op die horisontale as van die kaart as die een wat min geslyp en afgerond is. Netso sal 'n hoër waarde op die vertikale skaal aandui dat die korrel oorspronklik rond was as een wat laag op die vertikale skaal voorkom. Skerwerige korrels het dus lae waardes en ronde of kubusvormige korrels hoë waardes. Die gemiddelde waarde aanduiding dui die onderste linkerhandste hoek aan van die blokkie waarin daardie korrelvorm lê. Die horisontale syfer word eerste gegee en dan die vertikale syfer (x, y).

Hieruit blyk dit dat die korrels teen die Atlantiese oseaan baie meer gerond en gepoleerd is as korrels langs die Valsbaaikus. Die see is ook baie rowwer en het veel



meer golfaksie langs die Atlantiese kus as langs die Valsbaaikus. Groter golfaksie moet dus noodwendig meer beweging van sand veroorsaak wat natuurlik die slyt- en poleerproses aanhelp. (Sien die fotos in Bylae F.)

Die gladder vorms van die sand bied ook minder vashouplek vir chloriedes sodat nie alleen die chloriede-inhoude van hierdie sand laer is nie, maar hulle was ook soveel makliker om die chloriedes te verwyder.

Oor die algemeen is die sterker kwarts korrels redelik kubies tot rond van vorm terwyl die skulp platter is en soms neig om langwerpige korrels te gee.

Hoewel die Pettijohn-skaal moeilik is om akkuraat toe te pas en dit eerder op 'n mening neerkom as op 'n wetenskaplike meting of berekening, is dit tog nuttig om korrelvorms in die gedagte, te vergelyk. Aldus raak 'n mens gevoelig vir korrelvorm veranderings en neig om veranderings makliker op te merk.

#### 2.2.7 Gradering en fynheidsmodulus:

(Sien Graderingskurwes in Bylae G.)

Met gradering word bedoel die relatiewe verspreiding van die verskillende korrelgroottes in 'n sandmonster. Die graderingskurwe word verkry deur die totale persentasie, op die vertikale as aangedui, wat nie deur 'n betrokke sif sal gaan nie te stip (plot) teenoor die grootte van die betrokke sifopeninge op log-skaal, op die horisontale as aangedui. Aangesien die opeenvolgende sifgroottes met 'n konstante faktor 2 verskil, beteken dit dat die log-sifgroottes horisontaal ewe ver vanmekaar lê.

Dit is gerieflik om hier te werk met sifwaardes. Gestel in 'n sandmonster sal alles deur die 0,300 mm sif gaan en alles agterbly op die 0,150 mm sif, dan sal die fynheidsmodulus (FM) van daardie monster = 1 wees volgens Abrams se formule wat soos volg geskryf kan word in metriese vorm.

$$FM = 3,31 (1 + \log_{10} D_i) \quad \dots(2.1)$$

waar  $D_i$  = gemiddelde korrelgrootte oor 'n sekere bestek - sê byvoorbeeld alles wat deur 'n 0,300 mm sif gaan en alles wat op 'n 0,150 mm sif agterbly.

$\approx 0,67 \times$  (grootte van die grootste sif-opening binne daardie bestek - in die geval 0,300 mm).

Sand deur die 0,600 mm, maar op die 0,300 mm sif kry dan 'n sifwaarde van 2, ensovoorts.

Let op dat die sand wat deur die 0,150 mm sif gaan, maar agterbly op die 0,075 mm sif kry 'n waarde = 0 terwyl die deel wat deur die 0,075 mm sif gaan en agterbly op 0,038 mm sif, die waarde -1 sal kry. Aan elke sif kan dus 'n waarde gekoppel word soos volg met sifwaardes in hakies na die sifgrootte:- 0,038 mm (-1); 0,075 mm (0); 0,150 mm (1); 0,300 mm (2); 0,600 mm (3); 1,180 mm (4); 2,360 mm (5); 4,750 mm (6); ensovoorts. Wanneer nou verwys word na 'n graderingsbestek van 1 - 3 beteken dit dat 'n relatiewe klein hoeveelheid deur die 0,150 mm sif (1) gaan en dat 'n relatief klein hoeveelheid op die 0,600 mm sif (3) agterbly. Graderingsbestekke kan maklik afgelees word van die graderingskurwes (sien Bylae G). Die graderingsperke word beskou as die punte waar die gradering oënskynlik skielik afbreek of diskontinu raak aan sy bo- en onderpunte.

Soos reeds getoon in Hoofstuk 1, is kussande onderworpe aan streng sortering. Dit is nie alleen die see wat sorteer nie, maar ook die wind wat veral die fyner deeltjies wegvoer en op sy eie sorteer en neersit op die duine. Dit moet dus verwag word dat kussande baie kort graderingsbestekke sal hê.

Die algemeenste bestek is 1 - 3 terwyl 1 - 5 en selfs 1 - 6 ook gevind is. Die Superfyn duinsand by Strand-noord word gegee as (0 - 1) terwyl ander fyn duinsand geklassifiseer word met 'n graderingsbestek van (1 - 2) wat beteken dat duinsand hoofsaaklik uit eenkorrelgrootte sand bestaan. Waar 'n bestek (1 - 3) of (1 - 5) aangedui word, is ook gevind dat die deel wat deur die 0,150 mm sif (1) gaan onbeduidend klein is en oor die algemeen veels te min is om samehangendheid aan 'n betonmeng te verskaf. Volgens ondervinding is meer as 5% van 'n sand van kleiner as 0,150 mm nodig om 'n normale betonmeng samehangend te maak.

Die grootste graderingsbestekke kom voor by sande tussen die hoogwatermerke en die see; dus die gebied waar winde nog nie genoeg kans gekry het om fyner sand te verwyder nie en waar sand nog aan die maal- en poleerproses onderwerp word. 'n Interessante geval is in die duinsand (monster 7C) regoor Kapteinsklip gevind. Die sand toon twee duidelike verskillende graderingsbestekke, naamlik van (0 - 2) en (2 - 3) wat aandui dat die betrokke sand afkomstig is van twee bronne.

'n Vergelyking van die graderingsbestekke toon dat die Valsbaai-sande van tussen Macassar en Strandfontein oor die algemeen die grootste graderingsbestekke het en die belowendste gebied is vir toekomstige sand ontginning. Die toevoerbron van hierdie sand is hoofsaaklik die Eersterivier en die Lourensrivier. Hierdie riviere is



albei snel-vloeiend in die Winter en dit is bekend dat veral die Eersterivier, sand afvoer. Vandaar miskien ook die rede waarom hierdie sand minder gerond en gepoleerd is as die sande langs die Weskus waar riviertoevoere uiters beperk is.

Soos reeds getoon, het hierdie sande ook groter droë los volume digthede (DLVD) as sande met korter graderingsbestekke. Goeie landwaartse bronne of sandneerslae kan dus verwag word. Die goeie sand van die Philippi bronne bevestig hierdie vermoede. Sandverwydering direk van die kus mag nie aanvaarbaar wees vir die ontwikkeling van die gebied nie, maar daar kan sekerlik plekke gevind word waar sand uit die see en naby die kus verwyder kan word.

'n Vooruitskouing na nuwe toekomstige sandbronne lei 'n mens onwillekeurig na die Weskus Noord van Melkbosstrand. 'n Interessante verskynsel hier is dat daar sekere gebiede is waar die graderingsbestek hoofsaaklik oor die (2 - 4) gebied strek met baie min sand wat deur die 0,300 mm sif gaan. Indien hierdie sand as bestanddeel gebruik sou word, sal dit beslis te min fyn materiaal bevat, onsamehangend wees en oormatig bloei. Op sy eie sal hierdie sand nie veel vermag nie, maar sal beslis gesteun moet word met toevoeging van fyner sandsoorte. Die superfyn sande opsigself is ook nie 'n goeie proposisie nie omdat hul graderingsbestek kort is en daar 'n groot gaping gelaat word tussen hul grootste korrels en die kleinste korrels van normale growwe aggremaat.

Dit kan egter voorsien word dat 'n kundige vermenging van growwe en fyn sand groot moontlikhede inhou. Sodoende kan bespaar word op vervoer deurdat slegs die growwer sand van ver af aangebring moet word terwyl 'n naby geleë baie fyn duinsand wat moontlik 'n oorlas is, gebruik kan word om die growwer sand te verbeter. Die voorkoms van hierdie

As graderingsbestekke alleen die maatstaf is waarvolgens sand beoordeel word, kan dit gesê word dat die Weskus kussande van 'n swakkerige gehalte is en as die toekomstige bronne so lyk, is dit noodsaaklik dat die tegnologie van sandverbetering deur vermenging van verskillende sandsoorte, deegliker ondersoek moet word. In die volgende hoofstuk sal meer aandag aan hierdie aspek gegee word.

Die ontwikkeling van die begrip van die fynheidsmodulus was 'n poging van Abrams om die gemiddelde korrelgrootte van 'n sandsoort numeries te beskryf. Die formule, in metriese vorm wat hiervoor gebruik word, is reeds beskryf as vergelyking (2.1) in paragraaf 2.2.7. As hierdie formule nou toegepas word op elke korrelgrootte groep, byvoorbeeld deur 0,600 mm sif en op 0,300 mm sif, en die geweegde resultate word saamgestel, word die FM van die hele sandmonster verkry. Hoewel hierdie 'n beginpunt is om sand numeries te beskryf, het dit baie gebreke en is onvoldoende om 'n sand uniek te beskryf. Verskillende sandsoorte met selfs uiteenlopende graderings kan nog steeds dieselfde fynheidsmodulus hê.

Die FM kan tog waarde hê wanneer verskillende goedgegradeerde of eners gegradeerde sandsoorte met mekaar vergelyk word. Die sand met die kleinste FM sal die fynste wees en die met die grootste FM die grofste.

Gewoonlik word nie veel ag gegee op die deel wat deur die 0,150 mm sif (1) gaan nie. Wanneer superfyn sand egter beskou word en veral die waar 90% en meer deur die 0,150 mm sif gaan, is dit ook noodsaaklik om te kyk na die deel wat deur die 0,075 mm sif sou gaan. As Abrams se formule streng toegepas word, sal die deel wat deur die 0,150 mm



sif gaan en op die 0,075 mm sif agterbly 'n waarde = 0 hê, terwyl die deel wat deur die 0,075 mm sif gaan en op die 0,038 mm sif agterbly, 'n waarde van = -1 kry. Slegs in 'n paar uitsonderlike gevalle is gevind dat 'n klein persentasie van die superfyn sand ook deur die 0,075 mm sif gaan en dat negatiewe aanpassings nodig was.

Tesame met al sy inherente gebreke, gee die FM tog 'n numeriese aanduiding van of die sand fyn of grof is. Saam met die spesifieke oppervlaktes van monsters, werp dit tot 'n mate ook meer lig op die vorm en op hoe gerond en gepoleer die betrokke sand se korrels is.

### 2.3 Gevolgtrekkings:

Die watervereistes van die sande oftewel die hoeveelhede water wat benodig word om 'n kubieke meter beton te maak met 'n bepaalde growwe aggregraat (gewoonlik 20 mm klip) en van 'n bepaalde werkbaarheid (gewoonlik 50 mm uitsakking), is nie bepaal nie. Die rede is dat toetse met werklike betonmense gemaak moet word om betroubare waardes te kry. Hiervoor is heelwat groter hoeveelhede sand nodig as die wat as monsters geneem is. Die meer belowende monsters langs die Weskus is geneem in tans moeilik bereikbare plekke sodat groot monsters onbekombaar was. Sand ontwikkeling langs die Weskus sal dus 'n pad insluit, maar dit behoort geen probleem te wees nie, omdat die goeie Weskuspad redelik naby die see loop.

Die moontlikheid om die watervereistes te bepaal met behulp van Zietsman en West se formules en kurwes is ook oorweeg, maar op sy beste is hierdie metodes slegs intelligente skattings van watervereistes. Die formules en kurwes is ook empiries van aard en hul akkuraatheid is onseker veral wanneer met kort graderingsbestekke gewerk word en afgewyk word van normale gegradeerde sande. Derhalwe, voordat 'n



verkeerde indruk geskep word, is besluit om liewers nie die watervereistes te bereken nie. Die fisiese eienskappe van die monsters soos bepaal, is in elke geval voldoende om die sand se potensiaal en tekortkominge te ontbloot. Wanneer dit nodig word om 'n bron intensiewer te ondersoek, kan hierdie toetse gedoen word.

Die belangrikste oogmerk was derhalwe om eerder te soek na growwe seesand bronne wat hul leen tot ontwikkeling, want growwe sand is blykbaar die grootste probleemgebied. Fyn sand kan in voldoende groot hoeveelhede gevind word, hoewel hul graderings swak is.

Die volgende algemene afleidings kan nou gemaak word:

1. Kussande word onderwerp aan aktiewe sortering; hoofsaaklik deur die see, maar ook deur wind as dit kom by duine vlak langs die see en selfs verder van die see.
2. Versetting van sand kuslangs geskied hoofsaaklik deur die rigtings van die golfaksies wat help met sortering van die sand. Gebiede waar hoofsaaklik growwe sand en ander gebiede waar hoofsaaklik fyn sand voorkom is soos verwag was, gevind.
3. Die sande bevat of 'n groot oormaat korrels wat deur die 0,150 mm sif gaan of 'n groot tekort aan korrels wat deur die 0,150 mm sif gaan. Die gebrek aan korrels wat deur die 0,150 mm sif gaan, gee onrealistiese hoë fynheidsmodulus (FM) waardes aan die growwer sande. Die FM waardes van duinsand kan dus nie vergelyk word met FM waardes van putsand wat oor 'n groter graderingsbestek gegradeer is nie en wat ook 'n stewige persentasie wat deur die 0,150 mm sif gaan, bevat.

4. Die growwe sand gebiede sowel as die fyn sand gebiede is oor die algemeen minder geskik om elk op sy eie te ontwikkel. Kombinasies van fyn en growwe sand moet dus sterk oorweeg word met toekomstige bron ontwikkeling.
5. Oor die algemeen is die sandkorrels langs die Weskus meer geslyp, afgerond en gepoleer as die sandkorrels langs die Valsbaaikus.
6. Sand langs die Weskus is deegliker gesorteer met oor die algemeen korter graderingsbestekke as die langs die Valsbaaikus.
7. Skulpsand-inhoude skyn aanvaarbaar te wees, selfs onder die huidige spesifikasies. Gepoleerde skulpsand word nie as nadelig beskou nie en groter persentasies skulpsand behoort toegelaat te word. Growwe skulp wat moontlik onaanvaarbaar kan wees, kan maklik uitgesif word.
8. Chloriede inhoude is skynbaar effens hoër langs die Valsbaaikus as langs die Weskus en moet tot 'n mate gekoppel word aan skulpinhoude en afgerondheid en gladheid van die korrels.
9. Selfs op hoogwatermerk is die meeste sande se chloriede inhoud laag genoeg om veilig gebruik te word.
10. Chloriedes in duinsand is so laag dat dit sonder uitsondering veilig is om te gebruik ten opsigte van toelaatbare chloriede-inhoude.
11. Chloriedes word maklik uit kussande en veral uit gepoleerde sande uitgewas. Hier is die natuur 'n sterk bondgenoot.

12. Die verwagting is dat growwe Weskus sande neig om beter te verpak weens groter gerondheid as die Valsbaai kussande. Soos in Hoofstuk 4 getoon, veroorsaak groter graderingsbestekke ook beter verpakking en droë los volume digthede, as korter graderingsbestekke. Waar die Weskus sande dus voordeel trek uit beter gerondheid, trek die Valsbaai sande weer meer voordeel uit groter graderingsbestekke.
13. Vir toekomstige sandontginning langs die Valsbaaikus, moet sand uit die see tussen Macassar en Strandfontein ondersoek word as 'n bron. Sand vanaf die kus mag vir ekologiese redes onaanvaarbaar wees.
14. Die onbeboste duine by Macassar-Suid, kan sterk oorweeg word as 'n bron met beperkte moontlikhede. Hoewel die sand fyn is, FM = 1,69, is dit tog bruikbaar.
15. Ontginning van sand uit die see by Houtbaai verdien ook nadere ondersoek.
16. Sand van die kus langs die onontwikkelde Weskus kan sterk oorweeg word en verdien verdere prospektering. Hierdie sand sal egter 'n newe-bron met fyn sand benodig vir sinvolle ontwikkeling. 'n Newe-bron van fyn sand naby die verbruikpunt kan groot besparings aan vervoerkoste meebring.
17. Sand uit die see aan die Weskus verdien ook verdere oorweging. Plasing van ontginningspunte moet golfaksie inagneem sodat aanvulling weer deur golfaksie kan geskied.
18. Dit word vermoed dat landwaarts langs die Weskus ook goeie sandbronne gevind kan word en dat dit intensiewer prospektering regverdig.



19. Sand uit die see en onder hoogwatermerk beskik blykbaar oor groter graderingsbestekke as sande bo hoogwatermerk.
20. Sandverwydering van die onbeboste duine by Llandudno en veral die by Atlantis hou geen gevaar in vir die verstoring van die ekologie van die gebied nie. Hierdie duine word eerder beskou as 'n oorlas as van enige nut en benutting van hierdie sand kan aangemoedig word. Dit sal egter nodig wees dat die gebruiker verstaan hoe om die sand aan te wend en te gebruik en hy sal meer kennis moet opdoen van vermenging van sande om die optimum meng te verkry.
21. Sande en mengsels van sande moet streef na 'n groot graderingsbestek en groot droë los volume digtheid. Dit verlaag die watervereistes en vereenvoudig mengontwerp.

Indien al die faktore en feite inaggeneem word, moet 'n mens tot die slotsom kom dat kussande nie volmaakte bronne is nie, maar dat hulle saam met ander bronne goed benut kan word. Die fisiese eienskappe van die sande langs die see toon egter in watter gebiede prospektering uitgevoer kan word. Dit bevestig ook dat die gebruik van swakker sandsoorte wat graderings betref meer en meer sal voorkom en onvermydelik is.

Die gradering van die meeste sandsoorte kan egter verbeter word deur ander sand daarby te meng. Indien dit nie moontlik is nie, is die alternatief om meer aandag te gee aan die growwe aggremaat en om graderingsperke te vergroot deur fyner klip by te meng.

Die onmiddellike en grootste behoefte is dus om die regte mengverhoudings te kan vind waardeur swakker sandsoorte met

groter vrug gebruik kan word. Heelwat meer begrip van mengsels en hoe om die beste meng te vind, is dus nodig. Tegnieke om die beste meng te vind en die beste gebruik te maak van swakker sandsoorte verdien dus op hierdie stadium meer aandag as om te prospekter na toekomstige bronne.

Gevolgtlik sal op hierdie stadium volstaan word met die ondersoek na kussande en moontlike bronne langs die Weskaapse kus en sal oorgegaan word tot die gebruik en benutting van die swakker soorte sand. Die moeilikste sand om mee te werk en te verstaan, is sekerlik die superfyn duinsand, sodat die volgende hoofstukke gewy sal word aan hierdie tipe sand. As die tegniek om hierdie sand doeltreffend aan te wend baasgeraak is, word geglo dat die ander moeilike sande op soortgelyke wyses hanteer en benut kan word.

DEEL IISUPERFYN DUIN- EN KUSSANDE AS BETON AGGREGAAT- HOOFSTUK 3 -KORRELSTUITING EN -GRADERING3.0 Inleiding:

Growwer kussande, hoewel hul graderingsbestekke kort is en beskou kan word as bondelgegradeerde sande, kan redelik maklik verbeter word deur fyner sande by te meng. Die probleem kom egter wanneer sande te fyn is en geskikte growwer sande nie geredelik beskikbaar is nie. Heel dikwels kom hierdie baie fyn sand langs kUSDorpe soos Die Strand en Mitchellsplein voor waar hulle 'n ware oorlas is. Benewens hierdie sand is daar ook ontsaglike groot duine-gebiede langs die Weskus soos byvoorbeeld by Atlantis waar hierdie sand ook eerder as 'n oorlas beskou kan word en 'n bedreiging vir die plantegroei soos die duine "loop".

Soos die beter sandsoorte in die Kaapse Vlakte en by ander bronne uitgeput raak, sal die probleem van die gebruik van fyner sandsoorte meer en meer na vore kom. Meer en meer sal ook gebruik gemaak moet word van sand met ander gebreke sodat 'n tydige soek na moontlike oplossings nie onvanpas is nie.

Hierdie uitermate fyn duinsand, hoofsaaklik deur wind vervoer en neergelaat, sal kortliks beskryf word as superfyn of uitermate fyn sand. In hierdie kategorie kan ook



sandsoorte geplaas word met 'n fynheidsmodulus (FM) van kleiner as 1,0. Die sandsoort waarmee al die eksperimente gedoen is, is afkomstig van 'n duin op die kus van Strand Noord (monster 3C) en is deur wind gesorteer en neergelaat. Die sand se FM is volgens die Abrams formule bereken 0,05 wat beteken dat ongeveer 94% van die sand deur die 0,150 mm sif gaan en ongeveer 92% op die 0,075 mm sif agterbly.

Groot hoeveelhede van hierdie superfyn sand is weliswaar nie beskikbaar nie en hierdie sand sal waarskynlik ook nie in groot hoeveelhede aangewend word nie, maar soos getoon sal word kan die sand tog met sekere voorbehoude nuttig gebruik word. Daar is egter groot hoeveelhede effens growwer duinsand met 'n FM van in die omgewing van 1,0 langs die Weskaapse kus beskikbaar.

Dit word geglo dat as die tegniek om hierdie fyn sand te benut as betonmateriaal baasgeraak is, die ander fyn sande met FM  $\approx 1,0$  ook op soortgelyke wyse hanteer kan word in die betonmaak proses.

Volgens 'n artikel deur Qin Wenyue en Xu Jiabao<sup>(18)</sup> word daar in China reeds etlike jare vryelik gebruik gemaak van uitermate fyn sand met FM van om en by 1,0 maar meestal met groter as 1,20. Hulle skat ook dat oor die jare tot ongeveer 1979 meer as  $5 \times 10^6 \text{ m}^3$  superfyn sand met groot sukses gebruik is vir alle moontlike tipes bouwerke en selfs vir spanbeton werke. Inligting oor hul ontwerp tegniek en prosesse is nie beskikbaar nie en hoewel die een artikel<sup>(18)</sup> lig werp op sekere aspekte, is dit onvoldoende vir ontwerp doeleindes en om die hele probleem te verstaan. Toetse in die laboratorium gedoen met hierdie superfyn sand steun die bevindings van die Sjinese. Die sand waarmee geëksperimenteer is, is heelwat fyner as die deur die Sjinese gebruik en dit word geglo dat dit die probleemgebiede juis beklemtoon.

Aangesien die finale aanslag meer prakties van aard is, kan die tegniek wat ontwikkel is ook op die effens growwer fyn sande toegepas word. Die belangrikste is om te verstaan wat gebeur. In die volgende paragrawe sal gepoog word om meer helderheid hieroor te verskaf.

### 3.1 Teorie in verband met korrelstuiting (particle interference):

In enige beton word gesoek na minimum porositeit omdat porositeit die grootste faktor is wat sterkte en duursaamheid van beton bepaal. Om minimum porositeit te verkry, moet maksimum verdigting kan geskied wat beteken dat korrels so dig moontlik teenmekaar moet pak. In 'n korrelrige materiaal waar al die korrels ongeveer ewe groot is, kan maklik tot 50% tussenruimtes verwag word al word die materiaal ook hoe straf verdig. Kleiner korrels wat in die tussenruimtes kan inbeweeg sal dan noodwendig ook die totale porositeit of effektiewe tussenruimtes verminder. As die redenasie verder gevoer word, beteken dit dat net kleiner tussenruimtes gevorm is wat weer gevul kan word met kleiner en kleiner korrels. Dit beteken dus dat 'n korrelrige materiaal noodwendig uit 'n groot verskeidenheid korrelgroottes moet bestaan om minimum porositeit te verskaf.

In teorie klink dit alles goed en gaaf, maar hoe beland die kleiner korrels in die spesifieke ruimtes wat hulle juis moet vul? Hulle kan net daar kom as daar relatiewe beweging tussen die korrels voorkom wat beteken dat die korrels oormekaar moet skuif en tussen ander korrels moet deurbeweeg. As die korrels in 'n beperkte ruimte moet beweeg, beteken dit dat hulle ook opmekaar moet rus en dat korrels aan drukkragte onderwerp word. Drukking plus beweging moet dus wrywing veroorsaak wat beweging teëstaan.



Die eerste reaksie is om die korrels te smeer sodat beweging minstens vergemaklik kan word. Die enigste smeermiddel beskikbaar, is water en in sekere gevalle die pasta wat bestaan uit water plus sement, maar dit is ongelukkig nie altyd effektief nie, sodat dit nodig is om eers weer te kyk na korrelstrukture.

### 3.1.1 Dilatasie:

Afgesien van wrywing, is die ander groot probleem dilatasie. Dilatasie kan met behulp van 'n eenvoudige twee-dimensionele model soos in fig. 3.1 verduidelik word.

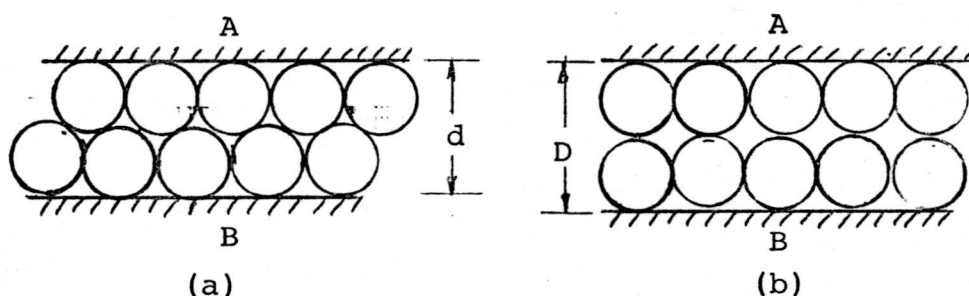


Fig. 3.1: Eenvoudige twee-dimensionele model.

Gestel ronde korrels word op plat vlakke A en B vasgeplak. Gestel A met die geplakte korrels word op B geplaas soos in fig. 3.1 (a). As vlak A nou 'n relatiewe beweging met betrekking tot vlak B ondergaan, sal die korrels op 'n stadium bo-op mekaar beland soos in fig. 3.1 (b). In die proses het vlakke A en B nou wegbeweeg vanmekaar sodat 'n groter globale volume tussen A en B gevorm is omdat  $D > d$ . Die skuifkrag wat beweging veroorsaak het in die korrelrige struktuur, het dus 'n vergroting van volume teweeggebring.

Dilatasie word dan ook gedefinieer as die verandering in of vergroting van volume van 'n korrelrige struktuur as gevolg van 'n skuifkrag daarop aangewend. Hoe groter die volume verandering hoe meer krag sal nodig wees om die



verandering teweeg te bring. Dus as die volume verandering tot 'n mate beperk kan word, sal die skuifkrag ook kleiner wees en sal korrels makliker oormekaar beweeg.

Indien kleiner korrels tussen die groteres geplaas word soos in fig. 3.2, sal dit onmiddellik duidelik wees dat die korrels oormekaar sal kan rol sonder veel toename in volume as vlak A met betrekking tot vlak B verplaas word.

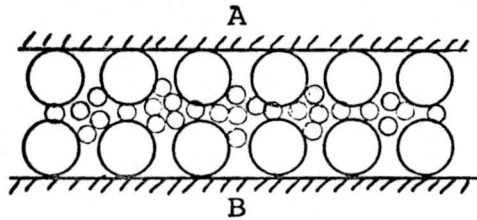


Fig. 3.2: Kleiner korrels hou groteres vanmekaar en dien ook as "rollaers" sodat vlak A makliker met betrekking tot B kan beweeg.

Die rol van die fyner korrels is dus nie slegs om ruimtes te vul nie, maar ook om as "rollaers" te dien om dilatasie te beperk. Kleiner korrels bevind hulle dus nou ook tussen growwer korrels om die growwer korrels vanmekaar te hou, want sodra die growwer korrels teenmekaar stuit, moet dilatasie wat juis beperk moet word, volg.

### 3.1.2 Weymouth se teorie van korrelstuiting:

Weymouth het hierdie probleem raakgesien en geredeneer dat as korrelstuiting verhoed of ten minste beperk kan word, die korrels groter beweegruimte moet geniet en aldus beter verpak. Vervolgens het hy sy bekende teorie in verband met korrelstuiting ontwikkel wat later deur Butcher en Hopkins<sup>(15)</sup> soos volg vereenvoudig is.

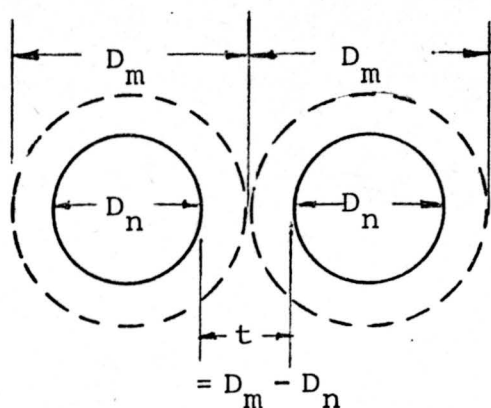


Fig. 3.3.

Beskou fig. 3.3. Gestel daar is  $N$  growwe korrels van 'n sekere groepgrootte per eenheids volume van 'n meng.

$$\text{Dan is } V_a = N g D_n^3 \quad \dots(3.1)$$

$V_a$  = soliede volume van die growwe korrels per eenheids volume van die meng met die veronderstelling dat die growwe korrels tot 'n mate eweredig versprei is in die meng.

$g$  = konstante wat afhang van die vorm van die korrels en is  $= \pi/6$  vir koeëlronde korrels.

$D_n$  = die gemiddelde deursnit van die growwe korrels en benaderd gelyk aan  $0,67 D_g$  waar  $D_g$  die grootste korrels in die groep is. (Gewoonlik 'n groep wat deur een sif gaan, maar alles behou word op die volgende sif. Dan is  $D_n = 0,67$  van die grootte van die grootste sif-openinge.)

Gestel nou dat die growwe korrels "opgeblaas" word sonder om hul intrinsieke vorm te verander, totdat hulle mekaar raak en aldus die digste vorm van verpakking bereik. Gestel ook dat hierdie kunsmatige vergrote aggregaat nou 'n gemiddelde korrelgrootte  $D_m$  het en 'n volume  $V_o$  met betrekking tot die volume eenheid van die meng. Omdat die werklike en die "opgeblaaste" aggregaat geometries dieselfde vorm het, stel  $V_o$  ook die volume digtheid voor

van die growwe aggremaat in sy verdigte vorm.

$$\text{Dan volg dat } V_o = N g D_m^3 \quad \dots(3.2)$$

$$\text{en dat } \frac{D_m}{D_n} = \left(\frac{V_o}{V_a}\right)^{\frac{1}{3}} \quad \dots(3.3)$$

Uit fig. 3.3 volg dat  $t$  die oorspronklike afstand tussen die korrels gegee word deur:

$$\begin{aligned} t &= D_m - D_n \\ &= \left[\left(\frac{V_o}{V_a}\right)^{\frac{1}{3}} - 1\right] D_n \end{aligned} \quad \dots(3.4)$$

As die volgende kleiner korrelgrootte  $D_{(n+1)}$  kleiner of gelyk is aan  $t$ , sal volgens Weymouth geen korrelstuiting plaasvind nie omdat hierdie korrelgrootte nou tussen die groter korrels kan inbeweeg en hulle uitmekaar hou.

$$D_{(n+1)} \leq \left[\left(\frac{V_o}{V_a}\right)^{\frac{1}{3}} - 1\right] D_n \quad \dots(3.5)$$

In hierdie afleiding is slegs twee korrelgroottes ter sprake, naamlik  $D_n$  en  $D_{(n+1)}$ . Die teorie berus ook op die veronderstelling dat al die fyner korrels infiltrer of inskuif in die tussenruimtes tussen die growwer korrels. Die formule is dan ook veronderstel om toegepas te word op opeenvolgende grootte groepe.

Met 'n groot aantal graderings groepe soos in 'n betonmeng, moet die graderings groepe noodwendig ook mekaar beïnvloed sodat dit 'n toenemende probleem word om die ekwivalente  $D_n$  van die growwer korrels te bepaal. Hierby moet ook nog gevoeg word dat die korrels in 'n betonmeng nooit uit koelronde korrels bestaan nie en dat die vorm van die korrels 'n besliste invloed het op die pakvermoë en beweegbaarheid van die korrels.



### 3.1.3 Gebreke in die Weymouth teorie:

Dunagan<sup>(16)</sup> en Powers<sup>(21)</sup> het later ook teoreties bewys dat sekere dele van die Weymouth formule en sy toepassings foutief is en nie summier in die praktyk toegepas kan word nie. Butcher en Hopkins<sup>(15)</sup> toon ook duidelik dat indien 'n toeslag uit meer as twee grootte groepe bestaan, korrelstuiting met 'n sekere groep nouliks toegeskryf kan word aan die volgende kleiner korrelgroep omdat korrels meer waarskynlik met korrels van alle groottes in kontak sal wees en nie net selektief met daardie groepe wat onder beskouing is nie.

### 3.1.4 Butcher en Hopkins<sup>(15)</sup> se benadering:

Butcher en Hopkins gaan ook verder en verdeel 'n betonmeng in 'n growwe en 'n fyn deel wat ook die sement insluit. Vir elke groep word dan die geweegde gemiddelde  $D$  bepaal en die Weymouth formule soos gegee deur vergelyking 3.5 toegepas. Die probleem wat Butcher en Hopkins op die lyf geloop het, was waar om die streep te trek tussen fyn en grof. Was dit die 1,18; die 2,36 of die 4,75 sif? Die probleem is skynbaar oorkom deur die totale growwe deel van die toeslag progressief oor 'n groter aantal siwwe te laat strek terwyl die fyner deel van die toeslag oor al minder sifgroepe gestrek het. Deur die oefening deur te voer kan dan vasgestel word of en waar korrelstuiting sal begin indien dit sou voorkom. Hiermee probeer hul dan ook vasstel in watter verhouding fyn tot grof moet voorkom om korrelstuiting te vermy. Deur die Weymouth maatstaf vir korrelstuiting aan te pas, kon hulle die kurwes soos gegee in figuur 3.4 opstel deur vergelyking 3.5 in die volgende vorm te skryf:

$$d \leq \left[ \left( \frac{V_o}{V_a} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right] D \quad \dots(3.5)$$

$$\text{of } V_a \leq V_o \left(1 + \frac{d}{D}\right)^{-3}$$

...(3.6)

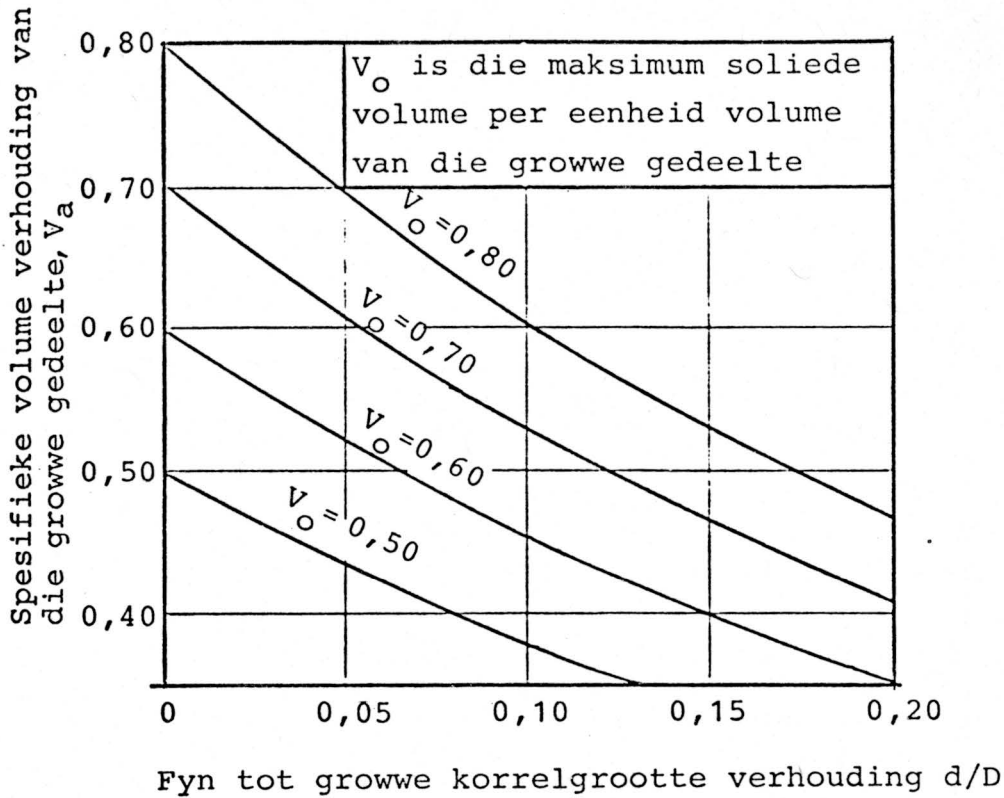


Fig. 3.4: Weymouth se korrelstuiting maatstaf soos aangepas deur Butcher en Hopkins.<sup>(14)</sup>

### 3.1.5 Hughes se benadering:

Hughes<sup>(14)</sup> het gevind dat dit in die praktyk nie so goed uitwerk as die gemiddelde korrelgrootte van die fyn gedeelte op dieselfde wyse bepaal word as die van die growwe gedeelte soos Butcher en Hopkins dit gedoen het nie. Sy bevinding was dat dit eintlik die groter korrels van die fyn gedeelte en die kleiner korrels van die growwe gedeelte is wat grootliks verantwoordelik is vir korrelstuiting in 'n beton. Die oorgang van fyn tot grof is in die omgewing van die 4,80 mm korrelgroottes. Later sal getoon word dat juis hierdie korrelgrootte 'n sleutelrol speel by menge met superfyn duinsand. Aangesien Butcher en Hopkins die sement korrels bygereken

het by hul bepaling van die fyn gedeelte se gemiddelde korrelgrootte, het veranderinge in die groter korrels van die fyn gedeelte baie min invloed op die gemiddelde korrelgrootte gehad.

Hughes het ook gevind dat die optimum growwe toeslag inhoud skynbaar onafhanklik is van die sement inhoud en die vorm van die growwe toeslag se korrels, aangesien toeslag van verskillende vormeienskappe in sy toetse gebruik is. Hy stel voor dat die metode van Butcher en Hopkins wel gebruik word om die gemiddelde korrelgrootte  $D$  van die growwe materiaal soos volg te bepaal.

$$D^{-1} = [\sum p_i (D_i^{-3})]^{-\frac{1}{3}} \quad \dots(3.7)$$

Vir die fyner gedeelte stel hy voor dat die gemiddelde korrelgrootte  $d$  soos volg bepaal word.

$$d = [\sum p_i (d_i)^3]^{-\frac{1}{3}} \quad \dots(3.8)$$

$p_i$  = die persentasie van gemiddelde grootte  $d_i$  of  $D_i$  in die  $i$ -te groep van die fyn of growwe dele.

Deur hierdie bepalingswyse van  $D$  en  $d$  te aanvaar, beklemtoon hy die groter korrels van die growwe deel en die kleiner korrels van die fyner deel. Hy sluit egter anders as Butcher en Hopkins, sement uit by sy berekenings wanneer  $d$  in die fyn deel bepaal word.

### 3.1.6 Toepasbaarheid van die Weymouth, Butcher en Hopkins en die Hughes metodes:

Wanneer Weymouth, Butcher en Hopkins en Hughes se maatstawwe vir korrelstuiting toegepas word op verskillende hoeveelhede, word verskillende en dikwels uiteenlopende resultate verkry.



Wanneer slegs met 2 of met 'n baie beperkte aantal korrelgroottes gewerk word, kom Weymouth baie naby aan die kol om die grens waar korrelstuiting voorkom te bepaal. Butcher en Hopkins slaag soms redelik goed om korrelstuiting te bepaal wanneer die fyn toeslag soortgelyk is aan die growwe toeslag; beide wat vorm en dieselfde aantal graderingsbestekke betref. Hughes is blykbaar nader aan die kol wanneer dit kom by verskille tussen fyn en growwe toeslag, beide wat vorm en graderingsbestekke betref. Ten spyte van al die skynbare sukses het Powers<sup>(21)</sup> getoon dat daar gevalle is waar aldrie redelik ver van die kol is en dat die verskille in die beoordelings nie wetenskaplik geregverdig kan word nie.

Geeneen van hierdie navorsers gee enige aanduiding van hoe 'n spronggegradeerde meng hanteer moet word nie en dit wil voorkom of hulle hul teorie ook netso op spronggegradeerde mengte toepas.

'n Ander gesigspunt waar kritiek gelewer kan word is dat hierdie navorsers mengte met die oog op handbewerking en verdigting beoordeel. Trilbewerking gee die onderskeie korrels weel meer mobiliteit sodat verpakking en vul van tussenruimtes veel makliker geskied. Aangesien die moderne neiging is om beton met behulp van trillers te verdig, wat natuurlik goeie praktyk is, is dit soms nodig om mengte spesiaal vir trilbewerking aan te pas.

Powers het juis getoon dat mengte wat nie aan die Hughes en Butcher en Hopkins maatstawwe voldoen nie, tog goed gevaar het onder trilbewerking. Dit wil dus voorkom dat trilbewerkte beton ander maatstawwe benodig as bloot net voorkoming van korrelstuiting. Dilatasie is nou nie 'n

wesenlike probleem nie omdat daar min sprake van dilatasie is, aangesien die hele massa in beweging raak en skuifkragte nie nodig is om beweging teweeg te bring nie.

In die geval van superfyn sande is dit maklik om 'n fyn sand met byna enkelkorrelgroottes te vind wat beide die Hughes en Butcher en Hopkins maatstawwe sal bevredig. Ervaring leer egter dat sulke sand geneig is om oormatig te bloei en dikwels 'n oormaat water benodig om redelike werkbaarheid te verseker. Die hantering van hierdie sandsoorte en miskien alle swak of afwykende sandsoorte kan dus nie summier vergelyk word met sandsoorte wat deurlopende graderings het nie.

Weens die komplekse aard van betonmense, bly dit 'n ope vraag of daar soveel nut in is om te teoreties te raak en alle mense onder een kombers of formule te probeer dek. Die lesse uit en die nut van die teoretiese benaderings is tog insiggewend en help om die probleem in perspektief te kry in die soeke na 'n oplossing. 'n Meer praktiese benadering tot die probleem moet dus oorweeg word, want per slot van sake is dit die beton wat gemaak word wat van belang is en nie soseer die teorie daaragter nie.

### 3.2 Verpakking:

Soos reeds getoon, is porositeit van 'n beton 'n uiters belangrike faktor wat die sterkte en duursaamheid van beton bepaal. Die water/sement (w/s) verhouding speel wel 'n oorwegende rol in die sterkte van beton, maar soos duidelik getoon in die "Rol van Water in Beton"<sup>(12)</sup>, is dit 'n toevallige verhouding wat in werklikheid die porositeit van die pasta (sement en water) bepaal en dat porositeit van die pasta in werklikheid die beslissende faktor is.



Sement daarenteen en ook sy hidraat wat gevorm word, is die heel kleinste korreltjies of deeltjies in 'n betonmeng en dit kan verwag word dat 'n goed verdigte beton waarin die sement goed versprei is, juis die kleinste korreltjies die laaste en kleinste tussenruimtes sal vul. Om 'n oormaat sement te vermy is dit dus noodsaaklik dat die fyn en growwe aggremaat so goed verpak dat minimum tussenruimtes gelaat word.

Die ideaal is natuurlik dat daar 'n goeie verspreiding van die verskillende korrelgroottes in 'n meng sal voorkom en die teorie asook die praktyk leer dat sulke goed gegradeerde mengte nie alleen maklik werkbaar is nie, maar dat hulle ook goed verpak en hoër sterkte beton lewer. Natuurlike sande het selde sulke ideale graderings sodat die ideale verpakking nie altyd moontlik is nie. Tog is dit moontlik om vir 'n sekere sandsoort (fyn toeslag) en 'n sekere klipsoort (growwe toeslag) 'n optimum mengverhouding te vind waarvolgens minimum porositeit vir daardie twee materiale gekry kan word. Noodgedwonge sal daar in sekere gevalle ook 'n perk gestel moet word aan hierdie minimum porositeit, om te verseker dat die minimum wat vir die twee materiale verkry is klein genoeg is vir goeie beton.

Die tegniek om hierdie optimum mengverhoudings te kry, sal aanstons bespreek word. Dit is egter nodig om eers te kyk na wat nodig is om goeie verpakking te verseker.

### 3.2.1 Vereistes vir goeie verpakking:

Die hoofvereiste is natuurlik dat daar genoeg kleiner korrels is om tussen die groteres in te skuif terwyl die "groter" korrels progressief kleiner word. Dit vereis ook beweegbaarheid van alle korrels in die meng en dat korrelstuiting waar dit ter sake is, tot 'n minimum beperk word. Die kleiner korrels is dus nie net nodig om ruimtes



te vul nie, maar ook om korrelstuiting en dilatasie teë te werk, veral met handverdigting van beton.

'n Verdere vereiste is dat die korrels van so 'n vorm is dat beweegbaarheid bevorder word. Plat skerfagtige korrels is geensins bevorderlik vir beweging nie. Dieselfde geld vir skerpkantige korrels met skurwe of ongepoleerde vlakke. Goeie korrelgrootte verspreiding kan dus benadeel word deur swak vorms van die korrels in die toeslag. Die ideale teorie oor korrelstuiting waar hoofsaaklik goed geronde korrels veronderstel word, kan dus heeltemal platval wanneer die aggremaat-korrels beide fyn en grof, plat en skerfagtig is.

Beweegbaarheid tot beter verpakking kan verhoog word deur die korrels met water te smeer. Die watervlieslagies wat om die korrels vorm en veral as daar beweging is soos tydens menging, hou die korrels vanmekaar en bevorder relatiewe beweging tot mekaar. Weens sy lae viskositeit is water sekerlik nie die ideale smeermiddel nie en dus is dit net logies om te vereis dat die tussenruimtes tussen die korrels so klein moontlik moet wees om effektiewer smering moontlik te maak.

In sy geheel gesien, verskaf die water eerder 'n "dryf" effek en moet al die korrels gedurende en net na menging gesien word as in 'n mate van suspensie. Vandaar die bloei effek van beton en versakking wat na plasing en verdigting voorkom asook die plastisiteit en mobiliteit van beton gedurende en onmiddellik na menging voordat besinking intree.

Indien 'n meng dus 'n hoë tussenruimte verhouding en hoë porositeit het, sal meer water nodig wees om die tussenruimtes te vul en die massa in suspensie te kry. Met lae tussenruimte verhoudings is dus min water nodig om

suspensie te verkry en gevolglik neem die watervereiste van die meng af asook sy bloeivermoë. Dit sal later getoon word dat sekere materiaal wanneer hulle droog gemeng en verdig word, hulle swakker verpak as wanneer hulle nat verdig word.

Saam met water kan sement 'n pasta met redelik hoë viskositeit vorm wat ook kan dien as smeermiddel, mits die pasta nie so ryk is dat die sement self intern aan korrelstuiting onderwerp word nie. Hierdie verskynsel kan bewys word deur die feit dat vir normale betonmense die hoeveelheid sement nie 'n beduidende invloed het op die watervereiste van die meng nie, hoewel die spesifieke oppervlakte wat benat moet word deur die water, aansienlik kan verskil. As 'n sekere hoeveelheid water met min sement nodig is om 'n bepaalde werkbaarheid aan 'n betonmeng te gee, sal die watervereiste feitlik onveranderd bly as die sement-inhoud binne perke verhoog word. Hoewel nou teoreties gesproke, meer water deur die sementkorrels vasgehou word en meer water benodig word om die sementkorrels te smeer, is die groter viskositeit van die pasta effektief genoeg om beter smering te verskaf. Meer sement verskaf ook meer  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  wat oplos in die water en aldus die water se elektrolitiese vermoë verhoog sodat die smeervermoë van die water ook verhoog.

### 3.2.2 Gebroke of sprong-gradering:

Dit gebeur soms dat daar 'n tekort aan 'n sekere korrelgrootte in 'n toeslag is vir goeie gradering. Volgens die korrelstuit teorie en veral soos verwerk deur Butcher en Hopkins<sup>(15)</sup>, is dit duidelik dat die tekort vergoed kan word deur meer van die fyner materiaal net kleiner as die sprong, te gebruik om die gemiddelde korrelgrootte van die betrokke deel van die meng weer reg te stel. In die praktyk kom dit daarop neer dat korrel-



groottegewys daar net soveel fyn materiaal bygevoeg moet word as wat daar korrelgroottegewys ontbreek van die betrokke korrelgrootte.

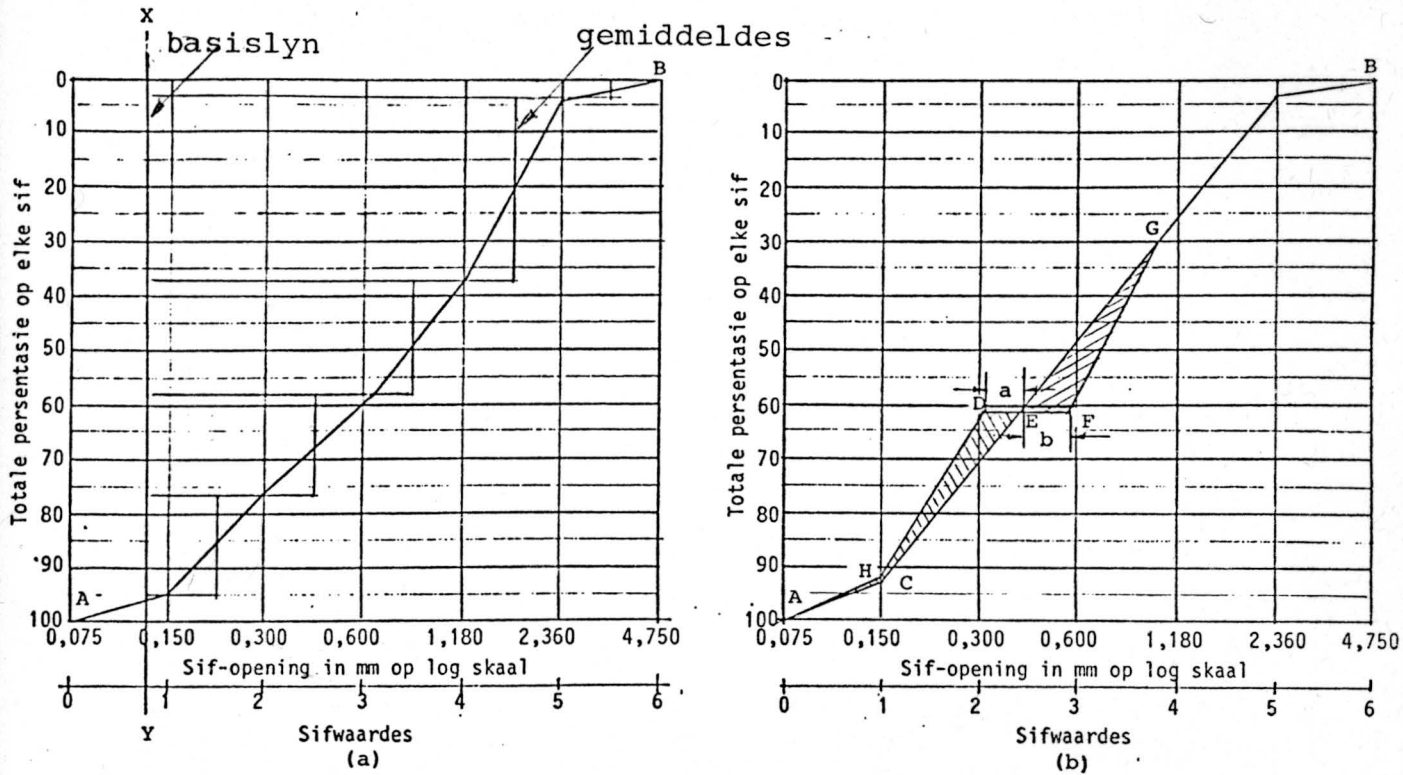


Fig. 3.5: Gradering en sprong-gradering.

Gestel AB is 'n graderingskurwe geteken normaal vir persentasies op 'n vertikale as en vir die log van die sifgroottes op 'n horisontale as soos in fig. 3.5. Gestel ook dat korrelgroottes wat deur die 0,600 mm sif gaan en agterbly op die 0,300 mm sif ontbreek, sodat 'n sprong DEF in die kurwe gevorm word, fig. 3.5(b). Gradering kan nou herstel word met 'n kurwe AHDEFGB wat sodanig is dat die oppervlakte AHDEC net 'n rapsie kleiner is as die oppervlakte GEF omdat meer korrels in die kleiner sifgebiede voorkom as in die groter sifgebiede. Dit beteken dus dat  $a$  kleiner as  $b$  moet wees in fig. 3.5(b) volgens Mercer<sup>(24)</sup>.



Indien die fynheidsmodulus (FM) van die sand konstant gehou moet word, moet oppervlakte AHDEC gelyk wees aan oppervlakte GEF. Fulton<sup>(22)</sup> het getoon dat die FM van 'n sand ongeveer gelyk is aan die oppervlakte XYB (fig. 3.5(a)) wat gedek word deur 'n denkbeeldige basislyn ongeveer die 0,106 mm sifgrootte, en die graderingskurwe AB. Indien die afwykings van die kurwes soos in fig. 3.5(b) gebalanseer word oppervlaktegewys, beteken dit dat die oppervlakte tussen die basislyn XY en die nuwe graderingskurwe AHDFGB dieselfde bly sodat die FM ook dieselfde bly.

Die FM van 'n materiaal is geen aanduiding van die doeltreffendheid van verpakking nie, sodat voorkeur verleen moet word aan die korrelstuit vereiste dat oppervlakte AHDEC net effens kleiner as oppervlakte GEF moet wees. Hierdie verskil in oppervlakte<sup>(23)</sup> sal uit die aard van die saak, 'n bietjie groter wees vir die fyner korrelgedeelte van die graderingskurwe as vir die groter korrelgedeeltes omdat die aantal betrokke korrels groter is vir die fyner gedeelte as vir die growwer gedeelte. Teoretiese balansering kan volgens die Hughes metode met behulp van vergelyking (3.7) vir die growwe gedeeltes en vergelyking (3.8) vir die fyner gedeeltes, geskied. Die probleem bly egter oor die grootte van die bestek wat korrelgrootte betref, wat inaggeneem moet word.

In die praktyk wil dit egter voorkom dat balansering volgens die basiese graderingskurwe redelik vinnig moet geskied en oor so min korrelgroottes as moontlik. Dus elke korrelgrootte gebrek moet verkieslik met die volgende kleiner grootte herstel word. As die herstel oor 'n te wye gebied voorkom, moet onderlinge korrelstuiting in daardie gebied ook ondersoek word.

Wanneer 'n meng getril of intensief bewerk word, word

korrels onderling beweeg om hulle te skik vir optimum verpakking. Beweging is egter sodanig dat kleiner korrels altyd probeer inskuif tussen groter korrels. 'n Goeie voorbeeld is dat die heel growwe korrels in 'n goeie werkbare meng feitlik nooit aan mekaar raak nie. 'n Groter verskeidenheid korrels sal dus makliker verdig as korrels van een grootte. Wanneer 'n "oormaat" korrels van een grootte bygevoeg word om die gebrek aan 'n effe groter korreltekort te oorkom, sal groter mobiliteit van hierdie korrels verwag word vir goeie verpakking. Trilbewerking of ander metodes van bewerking, sal dus effens verleng moet word omdat die "oormaat" korrels meer sal moet soek na ruimtes om in te pas. Dit is dan ook 'n algemene eienskap van sprong-gegradeerde menge dat hulle 'n bietjie meer verdigtings-energie benodig.

Tot dusver is hoofsaaklik gekonsentreer op deurlopende graderings wat ook enkele spronge mag bevat maar basies nog deurlopend bly. Daar is egter ook ander tipes van spronge wat gewoonlik oor 'n hele aantal sifgroottes voorkom wat aandag verg.

### 3.2.3 Verdunning en opvulling:

Twee gevalle kan voorkom, naamlik:

- (a) 'n goedgegradeerde fyn toeslag wat aangevul of verdun word met 'n enkel korrelgrootte growwe toeslag of growwe toeslag met 'n baie kort graderingsbestek; en
- (b) 'n redelik goedgegradeerde growwe toeslag oor verskeie sifgroottes wat aangevul word met 'n gegradeerde baie fyn toeslag oor 'n kort graderingsbestek.

In beide gevalle is daar 'n redelike groot sprong tussen die fyn en growwe dele van die toeslag. Hierdie twee gevalle sal later bespreek word nadat eers ingegaan is op die verpakkingseienskappe van die verskillende menge.

In die praktyk word heel dikwels gepraat van spronggradering en die voordele wat dit inhou. Selde of ooit verduidelik die literatuur presies wat die skrywers bedoel. Skrywer hiervan het telkemale in Europa voor die probleem te staan gekom dat navorsers praat van spronggradering wanneer hulle slegs bedoel dat een korrelgrootte growwe toeslag gebruik word in 'n meng en dat die sprong in werklikheid net tussen die growwe en fyn dele van die meng voorkom. Van wetenskaplike balansering van spronggraderings was daar dan geen sprake nie. Daar is 'n besliste behoefte aan 'n norm waarvolgens graderings beoordeel kan word.

In die oorgrote meerderheid gevalle was dit so dat die fyn toeslag dan goedgegradeer was terwyl die growwe deel net as 'n vuller of verdunner gedien het - soortgelyk aan geval (a) hierbo. By uitermate fyn sand soos die waarmee ge-eksperimenteer is, was dit duidelik dat die growwe aggregraat ook gegradeer moet wees, dat aggregraat fyner as 12 mm benodig word en dat 4,8 mm klipgruis nou noodsaaklik word as 'n deel van die growwe aggregraat. Hierdie aspek sal ook later in meer besonderhede bespreek word.



## - HOOFSTUK 4 -

### VERPAKKING

#### 4.0 Verpakkingstoetse:

Aangesien die teoretiese benaderings van korrelstuiting en graderings nie goeie verpakking met lae porositeit kan verseker of weerspieël nie en veral nie wanneer met afwykende of ongewone graderings te doen gekry word nie, is besluit om die probleem van verpakking op 'n meer praktiese grondslag aan te pak en metodes te ontwikkel waarmee optimum minimum porositeit vir sekere materiaalmenge gevind kan word. Wanneer voortaan gepraat word van optimum porositeit, sal bedoel word die minimum porositeit wat verkry kan word as twee of meer materiaalsoorte elk met sy eie besondere gradering en eienskappe, met mekaar vermeng word.

#### 4.1 Apparaat wat gebruik is en toetsmetode:

Die apparaat wat gebruik is, het bestaan uit 'n deursigtige perspex silinder met geslote bodem, ongeveer 500 mm hoog en met 'n binne-deursnit van 140 mm soos voorgestel in fig. 4.1. 'n Perspex skyf, ongeveer 10 mm dik, wat mooi binne die silinder pas, is as meetskyf gebruik. 'n Perspex deksel, ook ongeveer 10 mm dik en met 'n groef waarin die silinder pas sodat dit elke keer by elke toets op presies dieselfde hoogte en posisie sal kom, is bo-op die silinder geplaas. 'n Gekalibreerde meetstaaf wat vas is aan die meetskyf en deur die deksel gaan, is gebruik om die metings te doen. Die meetstaaf is so gekalibreer dat dit 'n lesing van 0 gegee het as die meetskyf op die bodem van die silinder rus. Daarna is die meetstaaf opgedeel in cm en mm, sodat wanneer die meetskyf op die monster rus, dit ook

outomaties die hoogte van die monster aandui waaruit dan die verdigte volume van die monster bepaal kan word deur die hoogtelesing met die volumefaktor van die silinder te vermenigvuldig.

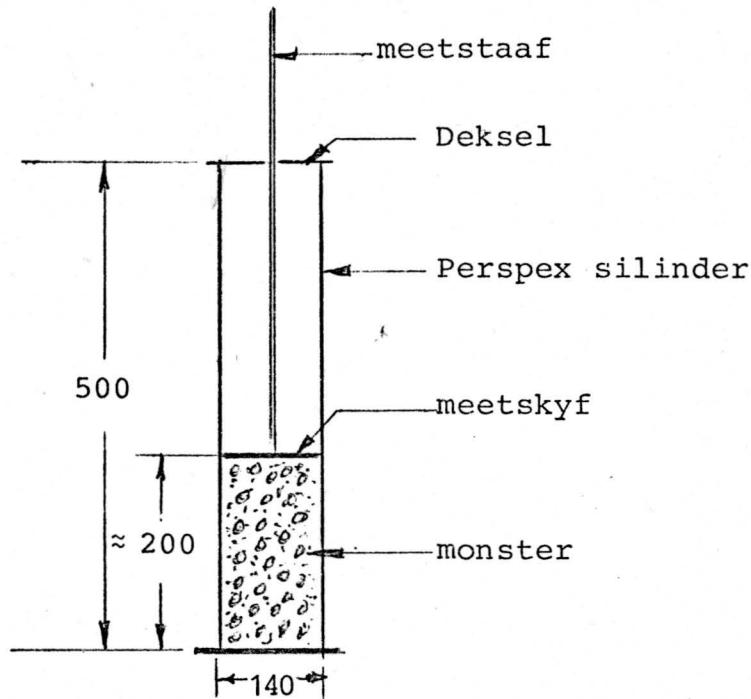


Fig. 4.1: Die apparaat waarmee verpakkingstoetse gedoen is.

Die monsters se massas was elke keer 6 000 g sodat die vormfaktor van die monsters in elke geval min of meer dieselfde was. Die keuse van die silinder-grootte is bepaal deur die grootste grootte perspex buis wat beskikbaar was en wat so is dat die meetskyf nog stewig aan die meetstaaf geheg kan word sonder gevaar van kanteling tydens metings. Geringe kantelings sou steeds toelaatbaar wees omdat die middel van die skyf as meetbasis gebruik is.

Dit is ook belangrik dat die deursnit van die silinder so groot moontlik moet wees omdat korrels wat teen die rande sit nie dieselfde pakvermoë het as die wat binne die monster is nie. Vir hierdie rede is die monster hoogte ook so gekies dat dit nie te veel hoër is as die deursnit van die silinder nie. Die ideaal soos bewys deur besinkingstoetse



is natuurlik om 'n baie wyer silinder te gebruik en die hoogte van die monster heelwat laer as  $\frac{2}{3}$  van die deursnit van die silinder te maak. Hoewel moontlik 'n beter weergawe van die natuurlike pakvermoë so verkry kan word, kan heelwat ingeboet word vir akkuraatheid van meting van die hoogte van die monster. Met hierdie silinder was dit reeds moeilik om veral by growwe aggregraat 'n gelyk bo-vlak te verkry wat nog sinvol gemeet kan word. 'n Mate van drukking op die meetskyf en voldoende trilling was nodig om die monsters so te laat vassak dat 'n maksimum aantal korrels die meetskyf kan raak. Die baie kleiner korrels wanneer sand en fyn aggregraat gebruik was, het metings heelwat makliker gemaak.

Dit wil voorkom dat die monstergrootte van 6 000 g ook bevredigend was in meer as een opsig. Groter monsters sou te veel materiaal vereis het en sou die vormfaktor minder bevredigend gemaak het. Groter monsters kon miskien beter gewerk het vir sand en fyn aggregraat, maar sou onbevredigend gewees het vir growwe aggregraat. Wanneer growwe aggregraat gebruik is, was dit duidelik dat groter korrels beslis teen die wande stuit of brug en die silinder moes al trillende gerol word om die stuiting te oorkom. Om dus 'n mate van eenvormigheid te behou, is finaal besluit dat 6 000 g monsters dwarsdeur by al die toetse gebruik sal word.

Powers<sup>(21)</sup> en andere, het soortgelyke toetse gedoen, maar hulle metode van verdigting was om die monsters vas te stamp. Kritiek teen hierdie metode is dat die werklike volume meting moeilik sou wees tensy die boonste vlak finaal met 'n breë plat voorwerp gestamp is. Ongelukkig word die metode van werklike meting en verdigting nêrens in besonderhede beskryf nie. Wanneer 'n meng gestamp word om dit te verdig, kan voorsien word dat korrels nie 'n groot mobiliteit sal verkry nie en dat dit 'n onnatuurlike behandeling van die gemengde materiale sal afgee. Korrels kan nou in ruimtes gedwing word wat hulle moontlik



normaalweg nie sou betree het nie indien hul toegelaat was om hul eie koers te kies. Neiging tot natuurlike stuiting en brugging word ook nie openbaar nie.

Om bogenoemde besware te oorkom, is besluit om die monsters intensief te tril totdat maksimum verdigting in elke geval bereik word. Dit sou die korrels 'n normale mobiliteit gee en hul vryelik toelaat om hulle in die kleinste ruimtes te skik soos dit werklik in 'n betonmeng sou gebeur. Dit sou ook toon hoe en waar segregasie voorkom; iets wat onmoontlik is as die monsters vasgestamp word.

Intensiewe trilling was in al die gevalle nodig om goeie verdigting te bereik en die triltyd vir elke monster was selde korter as 25 minute. In sekere gevalle moes tot 60 minute getril word voordat optimum verdigting bereik is.

Om enigsins die parameters te beperk, is besluit om te soek na maksimum verdigting. Alles is in werking gestel om dit te verkry deur die houters soms te rol of te laat spring op die tafel en aksies af te wissel met bestendige trilling. Dikwels was die probleem om van groot lugborrels ontslae te raak soos veral die geval was by fyner mengte omdat lugborrels nie deel behoort te vorm van goedverpakte mengte nie.

Die toetse is almal op dieselfde triltafel, wat deurgaans met dieselfde frekwensie en amplitude getril het, gedoen. Gemete versnellings onder normale belading van 24 kg was 2,9 g en onbelaai 4,2 g waar g die aardversnelling van 9,81 m/sek<sup>2</sup> is. Hierdie versnelling is van dieselfde orde as wat verkry word met trilnaalde waar versnellings wissel van 4 g tot 8 g (onbelas) en met bekistingtrillers en triltafels waar versnellings van 4 g of meer aangewend word (onbelas).

D'Appolonia (44) het gevind dat trillings op kohesielose

materiaal met kort graderingsbestekke die beste verdigting gee by versnellings in die orde van 2 g. D'Appolonia se uniformiteitskoëffisiënt ( $C_u = D_{60}/D_{10}$ ) wissel van 1,5 tot 3,5 terwyl soortgelyke koëffisiënte vir betonmenge groter as 35 sal wees. Beton en mortel is ook nie kohesieloos nie en hoewel D'Appolonia interessante inligting verskaf oor droë verdigting van kohesielose materiaal, is dit moontlik nie sonder meer van toepassing op verdigting van nat beton nie. Die versnellings wat in hierdie toetse gebruik is stem dus goed ooreen met versnellings wat D'Oppolonia gebruik het om maksimum verdigting te verkry.

Die basiese poging hier was om te sien hoe Menge van twee materiale A en B elk met verskillende graderings, algehele verpakking beïnvloed wanneer hulle in verskillende verhoudings met mekaar gemeng word. Solank die vormfaktor van die monster en houer konstant bly en alle pogings aangewend word om maksimum verdigting en verpakking te verkry by dieselfde versnelling, word geglo dat die toetse wat hier beskryf word geldig en beslis ter sake is:

Die verpakkingsvermoë van Menge word ook nie gebruik as 'n uitgangspunt tot die voorgestelde meng-ontwerp metode nie en word gebruik as 'n metode om die beste mengverhoudings van fyn en growwe toeslag te vind. By alle Menge moet daar steeds gestreef word na beste verpakking van die beskikbare of gegewe materiaal wat vrye keuses dikwels aan bande lê.

In die lig van die bevindings van D'Appolonia, is besluit om te kyk hoe tril tyd verdigting beïnvloed en is 'n reeks toetse gedoen waarin Menge vir 1, 3, 8 en 18 minute getril is. (Sien Fig. J.28 en tabel J.1 bladsy 8 van Bylae J.) Menge wat normaalweg swak verpak, neem heelwat langer om maksimum verdigting te bereik as Menge met optimum mengverhoudings, dit wil sê beste verpakking. By optimum toestande was trilling vir slegs 3 minute nodig terwyl



verdigtingstye van slegs materiale A of slegs materiale B meer as 18 minute was.

In hierdie toets is geen ekstra pogings soos rol of stampspring aangewend om maksimum verdigting te verkry nie en die houers met monsters was staties op die triltafel. Die toets dui ook dat maksimum verdigting by beste verpakking verkry kan word sonder ekstra energie by te voeg. Die feit dat suiwer Menge van materiale A of B nie naby beste verdigting kom nie, dui op ekstra energie wat vir hierdie Menge nodig is om beste verdigting te verkry. Menge wat dus goed verpak, verdig ook makliker en vinniger.

Die lang tye wat gebruik is met verdigting soos hierbo beskryf, was hoofsaaklik daarop gemik om baie seker te maak dat maksimum verdigting wel verkry is.

Die deursigtige pypwand was ook besonder nuttig om te sien hoe die meng reageer teenoor trilling en om vas te stel wanneer alle lug uit die meng ontsnap het. Toetse met superfyn sand en mengsels van hierdie sand met sement het getoon hoe moeilik dit is om ontslae te raak van alle lug en lugblase. Selfs Menge met growwer sande het dikwels lugblase bevat wat net met die grootste moeite verwyder kon word. Trilling is in alle gevalle voortgesit totdat die volume 'n konstante minimum waarde aangetoon het. Met hierdie behandeling was dit moontlik om elke keer maksimum verpakking te verkry vir daardie besondere geval en betroubare resultate kon verkry word. Herhaalbaarheid van die resultate was ook besonder goed soos bevestig is met enkele toetse (K.18 en J.28) sodat die metode met vertroue gebruik kon word.



#### 4.2 Werkwyse:

Gestel die optimum verpakking van monsters A en B moet bepaal word. Die werkwyse was dan om by een materiaal A te begin, dit te verdig en die volume van die verdigte monster te bepaal. Die ruimteverhouding, U, kan dan bereken word. Die monster is daarna teruggeplaas in 'n bak, natgemaak met water, goed gemeng en teruggeplaas in die silinder. 'n Klein oormaat water is gebruik sodat 'n lagie water bo-op die monster was na verdigting.

Hierdie proses is dan herhaal vir monsters waarin sekere hoeveelhede van A vervang is met dieselfde massas van B totdat die finale meng net bestaan het uit monster B. Vir elke nuwe meng, is nuwe materiaal gebruik en die totale massa van elke toetsmeng was 6 000 g sodat die vormfaktor vir alle mense min of meer dieselfde was.

Die ruimteverhouding, e, word gedefinieer as die volume tussenruimtes per soliede volume van die monster. Deur die ruimte-verhouding so te definieer, word die invloed van verskillende relatiewe digtheid (RD) van die bestanddele verantwoord.

$$\text{Ruimteverhouding } e = \frac{\text{volume tussenruimtes}}{\text{soliède volume}}$$

$$= \frac{V - v_s}{v_s}$$

$$\text{of } e = \frac{V}{av_a + bv_b} - 1 \quad \dots(4.1)$$

$$= \frac{n}{1 - n} \quad \dots(4.2)$$

waar  $V$  = gemete volume in die silinder.

$v_s$  = soliede volume van die bestanddele van die meng.

$a$  = massa van A met  $1/RD$  van  $a = v_a$ .

$v_a$  = soliede volume van A/eenheidsmassa  $\text{cm}^3/\text{g}$ .

$b$  = massa van B met  $1/RD$  van  $b = v_b$ .

$v_b$  = soliede volume van B/eenheidsmassa  $\text{cm}^3/\text{g}$ .

$n$  = tussenruimte breukdeel.

Die verskillende waardes  $U$  word dan gestip teenoor die verskillende mengpersentasies soos aangedui in fig. 4.2.

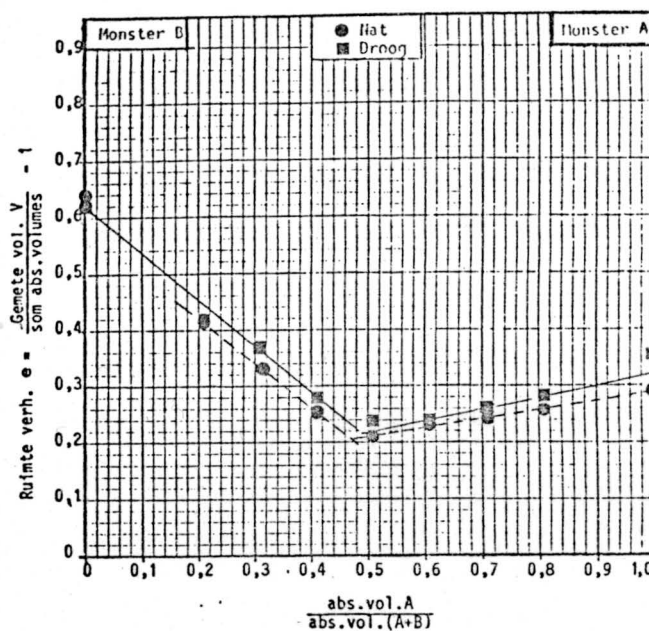


Fig. 4.2: Tipiese verpakkingskurwe van monsters A en B.

Monster A bevat 'n groot tussenruimte verhouding te wyte aan òf eenvormige korrelgroottes, òf 'n gebrekkige gradering, òf korrelstuiting òf iets van al die genoemde faktore. Hoeveelhede van B bygevoeg, vul dan die tussenruimtes van A of verbeter die gradering van die resultante meng of beperk korrelstuiting sodat die tussenruimte verhouding afneem. Die afname in tussenruimte verhouding is aanvanklik in 'n reglynige verband met die hoeveelhede van A wat deur B vervang is totdat 'n sekere minimum bereik word. In die omgewing van minimum ruimteverhouding, is daar gewoonlik 'n



oorgangskurwe na die gebied wat deur B oorheers word. Soos B verder vermeerder ten koste van A word weer 'n reglynige toename in tussenruimte verhouding verkry totdat ge-eindig word met 'n monster wat net uit B bestaan. Die mate waarin A vir B beïnvloed of B vir A beïnvloed, hang af van hoe groot die gebrek in verpakkingsvermoë van A en B is en hoe goed B en A die gebreke kan verbeter of uitskakel.

Die lengte van die oorgangskurwe hang af van hoe goed B die verpakking van A en A die verpakking van B verbeter. As die wederkerige invloede sterk is, is die oorgangskurwe kort, maar as dit nie baie sterk is nie, is dit langer. Die snypunt van die reglynige dele van A oorheersend en B oorheersend gee dus teoreties die optimum mengverhouding vir beste verpakking of die toestand van minimum tussenruimtes. 'n Kort oorgangskurwe dui op 'n redelike definitiewe optimum mengverhouding terwyl 'n langer oorgangskurwe aandui dat die punt van kritiese mengverhoudings nie so sterk gedefineer is nie. Langer oorgangskurwes neig dan ook meestal om plat en byne horisontaal te verloop.

Die monsters wat nat verdig is, het soortgelyke kurwes opgelewer, maar die "nat" en "droë" kurwes het nie opmekaar geval nie. Die kurwes van die nat monsters was wel parallel aan die van die droë monsters, maar hulle het òf bo òf onder die "droë" kurwes geval. In die reël was hulle oorgangskurwes ook korter en die snypunt van die reglynige dele beter gedefineerd. Die posisies van die snypunte van die droë en nat verdigte monsters was oor die algemeen baie na aan mekaar sodat die optimum mengverhouding vir optimum verpakking binne 5% vasgestel kan word.

Aangesien beton nat verdig word, moet die snypunt vir die nat kurwes groter gewig dra. Hier moet egter gelet word op die feit dat by sekere monsters lê die "nat"-kurwes bokant die "droë"-kurwes en by andere geld die omgekeerde. Die



keuse van die beste mengverhouding, sal dus ook beïnvloed word deur ander oorwegings wat later bespreek sal word.

Aangesien die tril- of verdigtingstyd oor die algemeen redelik lank was - 25 minute tot meer as 60 minute in sekere gevalle - het dit soms gebeur dat segregasie plaasvind. Dit was veral die geval wanneer baie growwe aggregraat met fyn aggregraat gemeng is. Wanneer segregasie voorgekom het, was dit in die gebiede waar  $\phi$  A of B in groot oormaat was. Segregasie het nie voorgekom naby die optimum mengverhoudings nie.

Die feit dat die kurwes nogtans feitlik reguit gebly het in die segregasie-gebiede, toon dat segregasie nie 'n wesenlike invloed gehad het op die globale verdigte volumes nie. Dit beteken dat die ongesegregeerde deel moontlik reeds optimum verpakking bereik het terwyl die gesegregeerde deel sy normale verpakking beleef het. Waar segregasie voorgekom het, was 'n mate van drukking op die meetplaat nodig om 'n realistiese lesing te verkry.

In die geval van growwe aggregraat waar die "nat"-kurwe bokant die "droë"-kurwe lê, moet verwag word dat segregasie 'n "nat"-kurwe wat grotendeels onder die "droë"-kurwe lê vir die betrokke meng die "droë"-kurwe sal kruis in die omgewing waar die growwe aggregraat by verre in oormaat is. Hierdie aspek moet deeglik in gedagte gehou word wanneer die reguit lyne geteken word om die snypunt te bepaal. In sulke gevalle is dit raadsaam om die uiterste punte vir  $N = 0$  en  $N = 1,0$  te verontagsaam. ( $N$  = Absolute volume van A per absolute volume van A + B.)

Die toetsprogram is uitgevoer soos in fig. 4.3 aangedui. Hiermee is gepoog om alle moontlike kombinasies te maak sodat uiteindelik ge-eindig kon word met 'n teoretiese optimum meng vir Duin- en Growwe sand saam met 4,8; 12 en

19 mm klip. Die syfers in die kringe stem ooreen met die toets nommers en dui ook die volgorde aan waarin die toetse gedoen is. Die duinsand wat hier gebruik is was superfyn duinsand (bron 3 C). Verwysings na duinsand bedoel dus in werklikheid superfyn duinsand.

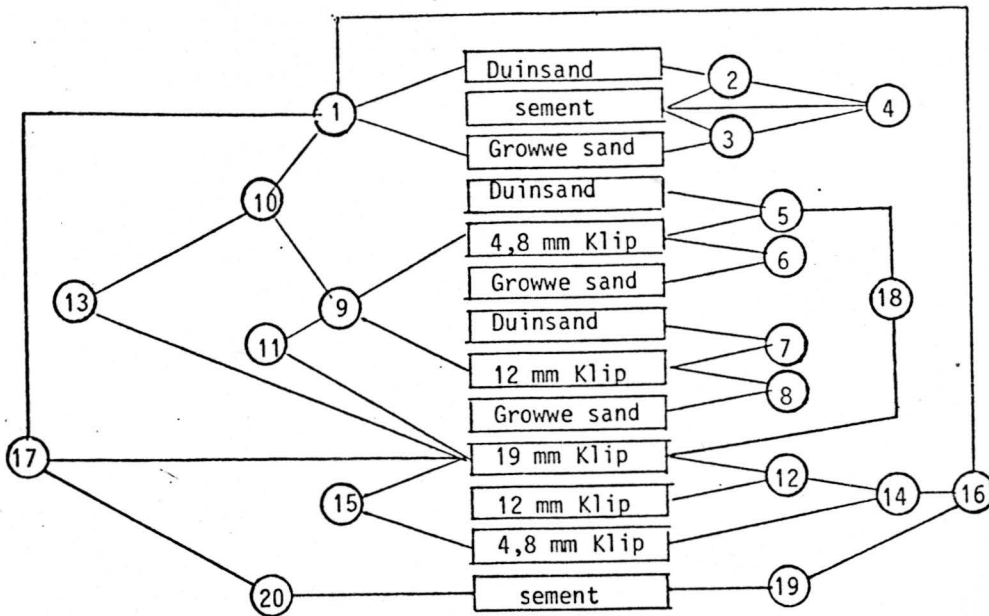


Fig. 4.3: Die toetsprogram.

#### 4.3 Die resultate van die toetse:

Die materiaal wat gebruik is, is soos verkry van die onderskeie bronne. Die growwe sand het 'n goeie gradering gehad (Fig. K.1, Bylae K) en sou sonder verbetering vir beton gebruik kon word. Tog is dit duidelik dat wanneer selfs van die goeie sand met Duinsand vervang word, 'n beter verpakking verkry kan word.

Een van die doelwitte van die toetse is juis om 'n praktiese metode te vind waarvolgens die mengverhoudings van verskillende materiale op 'n meer betroubare wyse gevind kan word. Die vermoë om goed gegradeerde materiale verder te verbeter, is dus moeiliker as om swak gegradeerde materiaal te verbeter.

#### 4.3.1 Meng van growwe sand en duinsand (Fig. J.1, Bylae J):

Die volgende gevolgtrekkings kan gemaak word:

- (a) Growwe sand het wel baat gevind deur duinsand by te voeg, maar die verpakking voordeel is nie groot nie.
- (b) Duinsand het geweldig baie baat gevind deur die byvoeging van growwe sand.
- (c) Hoewel die graderingskurwe (fig. K.1) 'n oormaat materiaal wat deur die 0,150 mm sif gaan toon en ook nie 'n gladde graderingskurwe gee nie, is dit tog duidelik dat die teenwoordigheid van duinsand wel verpakking verbeter het. Die rollaer effek het dus korrelstuiting beperk en beter verpakking aangehelp.
- (d) Weens die goeie verpakking en die rollaer effek, is die smering ook baie meer effektief sodat die nat sand beter verpak as die droë sand.
- (e) Die graderingskurwe van die optimum meng van duin- en growwe sand neig na 'n basiese reguitlyn kurwe. As die basiese reguitlyn vergelyk word met die werklike gradering, is dit duidelik dat wanneer die beginsel van sprong-gradering en balansering van afwykende oppervlakte inaggeneem word, hierdie basiese reguitlyn ook die balanslyn van die meng is.

Dit is interessant om op te merk dat die gradering van 'n uitstekende pleistersand was skrywer gevind het, feitlik presies saamval met so 'n basiese reguitlyn kurwe vanaf 0,075 mm tot 5% op die 2,360 mm sifgroottes.



- (f) Wanneer sand van so 'n gradering in beton gebruik word, sal enige enkel korrelgrootte growwe toeslag gebruik kan word, mits die persentasie growwe toeslag of die growwe korrels self, nie so groot word dat korrelstuiting in die growwe toeslag voorkom nie. Dus by sprong-gegradeerde growwe toeslag is dit eintlik die sand wat hoofsaaklik werkbaarheid bepaal.
- (g) Wanneer fig. J.19 ontleed word, is dit duidelik dat die beste materiaal verpakking verkry word by ongeveer 50% sand inhoud wat net meer is as die porositeit (45%) van die growwe toeslag self. Vergelyk ook fig. K.2 vir die gradering van so 'n optimum meng.

#### 4.3.2 Meng van Duinsand en sement (Fig. J.2):

Die volgende gevolgtrekkings kan gemaak word:

- (a) Duinsand baat ongeveer net soveel deur die byvoeging van sement as wat sement baat by die byvoeging van duinsand.
- (b) By die optimum mengverhouding, is die ruimteverhouding heelwat hoër as wat 'n mens graag sou wou gebruik. Die hoeveelheid van so 'n meng in 'n beton moet dus beperk word tot 'n minimum wat beteken dat die res van die bestanddele besonder goed moet verpak met 'n lae ruimteverhouding. Indien slegs growwe toeslag bygevoeg word, moet die growwe toeslag goed gegradeer wees oor 'n bestek so lank as moontlik. Dit beteken ook dat 4,8 mm aggremaat nou noodsaaklik word as deel van die meng.

(c) Droog verpak die duinsand-sement meng veel beter as in sy nat toestand. Die redes hiervoor kan een of meer van die volgende wees:

- (i) Met 'n groot ruimteverhouding, raak die smeervermoë van die water oneffektief.
- (ii) Baie klein korrels verskaf kleiner tussen-ruimtetjies as groter korrels sodat oppervlakspannings verhoog en veroorsaak dat die korrels aanmekaar kleef en beweging of verdigting belemmer. Let op dat kleiner korrels nie noodwendig laer porositeit aan die meng verskaf nie.
- (iii) Sodra sement in aanraking kom met water, begin dit hidreer en word omhul deur 'n hidraatlagie. Die invloed kan aansienlik wees as die korrels almal baie klein is.
- (iv) Die dikte van die kleefwaterlagie om sement korrels is groter as die om sand. Vandaar die klein verskil wanneer duinsand in oormaat is.

#### 4.3.3 Meng van growwe sand en sement (Fig. J.3):

Die volgende kan opgemerk word:

- (a) Die growwe sand verpak beter tot en met ongeveer 10% byvoeging van sement (10% per absolute volume en ongeveer 12% per massa).
- (b) Sement se verpakking word aansienlik verbeter deur byvoeging van growwe sand.

- (c) In 'n gewone betonmeng bepaal die hoeveelheid sement hoofsaaklik die sterkte van die beton. Hoewel goeie verpakking verkry word met 'n lae sement inhoud, is die sement normaalweg miskien net te min om beton van redelike sterkte te gee. In 'n gewone meng sal die optimum verpakking van die sement-sand moontlik net by laer betonsterktes voorkom. Hierdie opoffering van 'n effense verlies van verpakkingsvermoë moet dus oorkom word deur beter verpakking van die growwe toeslag sodat minder sement-sand nodig is. By hoër sterkte beton, is dit dus nodig dat veel meer aandag gegee word aan die gradering van die growwe toeslag as by laer sterktes beton, omdat 'n relatiewe groter persentasie sement teenoor sand as by optimum toestande gebruik word.

Goeie verpakking gee ook lae porositeit en gevolglik relatief hoër sterktes. Dit verklaar ook waarom goeie sementstene gemaak kan word met 'n lae sement inhoud uit 'n goeie sand en deeglike verdigting.

- (d) Weereens lê die natverdigte menge bokant die droogverdigte menge in die gebied wat deur die sement oorheers word.

#### 4.3.4 Optimum duin- en growwe sandmeng teenoor sement (Fig. J.4):

Soos verwag kan word, stem die resultate ooreen met die verkry in die vorige paragraaf 4.3.3. Die persentasie sement vir 'n optimum toestand, bly klein en weens die verbeterde verpakking van die sandmeng self is die invloed van sement op die oorheersende sand gedeelte ook baie klein; nog kleiner as vir growwe sand.



#### 4.3.5 Duinsand en 4,8 mm klip (Fig. J.5):

Die volgende word nou gevind:

- (a) Duinsand baat net soveel deur die byvoeging van 4,8 mm klip as wat 4,8 mm klip baat by die byvoeging van duinsand.
- (b) Die verbetering in verpakking van beide materiale is besonder groot, sodat dit duidelik word dat wanneer duinsand gebruik word, die byvoeging van 4,8 mm klip noodsaaklik is.
- (c) Natverdigte mengte verpak beter as droogverdigte mengte, wat daarop dui dat water nou 'n meer effektiewe smeer aksie verskaf. Die vermoë van die korrels om nou aanmekaar te kleef verbeter ook die aanvanklike verspreiding van die korrels in die mengte sodat minder beweging nodig is vir goeie verpakking en segregasie effektief teëgewerk word.
- (d) Die droogverdigte mengte toon 'n duidelike groot oorgangsgebied, terwyl die natverdigte mengte 'n redelike skerp oorgang vertoon.
- (e) Die optimum verhouding is min of meer 35% duinsand saam met 65% 4,8 mm klip. Die verpakking is redelik goed sodat selfs 'n goeie beton van so 'n mengte gemaak kan word, aangesien die sement inhoud, soos afgelei van fig. J.2, nie 'n groot verskil sal maak aan verpakking nie.
- (f) Indien die optimum duinsand en 4,8 mm klipmengte gestel word teenoor 19 mm klip soos in fig. J.20, blyk dit dat tot 25% van die 19 mm klip bygevoeg kan word vir 'n verdere verbetering aan verpakking. Dit beteken

dat 'n groot persentasie 4,8 mm klip in die meng verwag kan word. Die beste meng is egter ietwat hard en die werkbaarheid is nie baie goed nie.

- (g) 'n Betonmeng van duinsand, 4,8 mm en 19 mm klip (fig. J.25) is dus moontlik, maar die hoeveelhede is baie krities en moet versigtig gekies word.

#### 4.3.6 Meng van growwe sand en 4,8 mm klip (Fig. J.6):

Die volgende opmerkings kan gemaak word:

- (a) Growwe sand baat nie veel deur 4,8 mm klip by te voeg nie, terwyl die 4,8 mm klip wel baie baat deur growwe sand daarby te voeg.
- (b) In 'n betonmeng waar growwe sand gebruik word, sal dit nie veel baat om 4,8 mm klip by te voeg nie.

#### 4.3.7 Meng van duinsand teenoor 12 mm klip (Fig. J.7):

Die volgende kan weer opgemerk word:

- (a) Duinsand baat net soveel deur 12 mm klip daarby te voeg as wat 12 mm klip baat deur duinsand by te voeg. Dit kan soos volg verklaar word:
- (i) Wanneer 12 mm klip bygevoeg word, verplaas soliede materiaal (klip) sand met hoë porositeit.
- (ii) Fyn duinsand filtreer maklik in tussen die groot openinge tussen die klip, sodat lugspasies (porositeit van die klip) verplaas word deur soliede materiaal.

- (b) Die natverdigte mengte gee kleiner ruimte-verhoudings. In die nat meng kry die duinsand kans om aan die growwe korrels vas te kleef en veroorsaak sodoende 'n beter verspreiding van korrels wat gevolglik beter verdig.
- (c) Segregasie kom vry algemeen voor, behalwe in die optimum gebied.
- (d) 'n Groot persentasie duinsand is nodig teenoor 12 mm klip om optimum verpakking te verkry. Die oorgangsgebied is klein en skerp sodat die relatiewe hoeveelhede van elke bestanddeel uiters krities is.
- (e) Die minimum ruimteverhouding is laag sodat 'n betonmengte tog gemaak kan word. Die werkbaarheid van die mengte sal redelik laag wees en die beton sal 'n harde voorkoms hê.

#### 4.3.8 Mengte van growwe sand en 12 mm klip (Fig. J.8):

##### Opmerkings:

- (a) Die growwe sand se verpakking verbeter deur 12 mm klip by te voeg, maar by verre nie soveel as wat die 12 mm klip se verpakking verbeter deur growwe sand by te voeg nie. Dieselfde redes as in voorgaande paragraaf gegee kan hier aangevoer word.
- (b) 'n Groot oorgangsgebied word by beide droog- en natverdigte mengte verkry. Die mengteverhoudings in die omgewing van die optimum punt is dus nie so krities nie.
- (c) Nat mengte verdig beter as droë mengte, sodat water wel smering verskaf.



- (d) 'n Interessante verskynsel is dat die kleinste ruimteverhouding vir duinsand en vir growwe sandmenge met 12 mm klip feitlik dieselfde is. Dit toon weer dat teoreties kan beton van dieselfde sterkte met duinsand as met growwe sand gemaak word. Die groot verskil is egter dat by 'n duinsand meng is die mengverhoudings uiters krities en werkbaarheid is ook laer as by growwe sandmenge.

#### 4.3.9 Menge van 4,8 mm en 12 mm klip (Fig. J.9):

##### Opmerkings:

- (a) Verbetering in verpakking van beide 4,8 mm en 12 mm klip is gering. Die verskynsel moet verwag word, omdat die korrelgroottes van die twee groepe nie veel verskil nie. Die ruimteverhouding in die optimum gebied is dus ook hoog.
- (b) Nat verdigting gee groter ruimteverhoudings. Die mees aanvaarbare rede hiervoor is dat die water die stof van die korrels verwyder, sodat groter wrywing ondervind word met die gevolglike beperking van beweging van korrels ten opsigte van mekaar. Water het nou blykbaar ook sy smeer-vermoë verloor, wat heel verstaanbaar is, weens die grootte van die ruimtes tussen die korrels. Die stof om die korrels is blykbaar verantwoordelik vir die laer wrywing tussen korrels.

Ondergedompelde korrels is wel ligter as droë korrels, sodat beweging as gevolg van druk verlaag, maar as die druk verlaag, verlaag wrywing ook. Die druk op die monster toegepas tydens meting, kan egter meer as vergoed vir hierdie skynbare massa verlies, sodat die argument weens laer druk nie geldig blyk te

wees nie.

- (c) Die groot oorgangsgebied toon weer dat in die omgewing van die optimum is die mengverhoudings nie baie krities nie.

4.3.10 Menge van optimum duin- en growwe sand en optimum 4,8 en 12 mm klip (Fig. J.10):

Die patroon is min of meer soos verwag kan word:

- (a) Die sandmeng baat minder deur byvoeging van die klipmeng as wat die klipmeng baat deur byvoeging van sand.
- (b) Die oorgangsgebied is redelik skerp gedefinieer sodat mengverhoudings krities is in die omgewing van die optimum toestand.
- (c) Menge wat nat verdig is, verpak beter, sodat die smeervermoë van die water ook meer effektief is.
- (d) Die optimum ruimteverhouding is baie laag en heelwat beter as dië verkry uit enige van die vorige toetse.

4.3.11 Menge van 'n optimum 4,8 en 12 mm meng teenoor 19 mm klip meng (Fig. J.11):

- (a) Die optimum meng van 4,8 en 12 mm klip baat baie min deur 19 mm klip by te voeg, terwyl die 19 mm klip aansienlik baat by 'n byvoeging van 4,8 en 12 mm klip. Solank die persentasie 19 mm klip nie 50% oorskry nie, kan 'n redelike goeie klipmeng verwag word.
- (b) Nat verdigte mengte gee weer hoër ruimteverhoudings as droog verdigte mengte soos verwag kan word.

4.3.12 Menge van 12 mm klip met 19 mm klip (Fig. J.12):

Weens die relatiewe klein verskil in korrelgroottes tussen die materiaalgroepe, kan verwag word dat verpakking nie drasties sal verbeter nie. Die optimum meng is tog effens beter as wanneer slegs 19 mm klip gebruik word. Die persentasie 19 mm klip moet egter nie meer as 70% van die totale meng wees nie.

4.3.13 Die optimum mengte van duin- en growwe sand en 4,8 en 12 mm klip teenoor 19 mm klip (Fig. J.13):

Opmerkings:

- (a) Die optimum sand en klipmeng baat niks by die byvoeging van 19 mm klip nie, maar word eerder benadeel. Meer as 30% van die 19 mm klip verhoog die ruimteverhouding van die meng.
- (b) Indien slegs duin- en growwe sand en 19 mm klip gebruik word, wil dit voorkom dat 'n effens laer ruimteverhouding verkry word as in 'n meng waar ook 4,8 en 12 mm klip voorkom (vergelyk Fig. J.19). Hier is dus 'n geval waar spronggradering effens voordeliger kan wees, maar daar moet op gelet word dat in die geval van fig. J.19 word heelwat meer fyn aggremaat (sand) gebruik (50%) as in die geval van fig. J.13 waar slegs 36% sand gebruik word.

4.3.14 Optimum 12 en 19 mm klip teenoor 4,8 mm klip (Fig. J.14):

- (a) Die optimum meng van 12 en 19 mm klip, baat heelwat deur 4,8 mm klip by te voeg.
- (b) Van al die moontlike meng kombinasies van klip getoets, gee hierdie meng oor 'n groot gebied die



laagste ruimteverhouding van 0,59. Ander menge soos in fig. J.15 gee ook min of meer so 'n lae waarde, maar dit geskied oor 'n kleiner oorgangsgebied sodat meng-hoeveelhede 'n bietjie meer krities is. Min of meer dieselfde resultaat is dus langs verskillende weë verkry en wel met ander mengverhoudings. Dit beklemtoon net die ingewikkeldheid van verpakking en hoe moeilik dit voorspel kan word.

#### 4.3.15 Meng van 4,8 mm klip en 19 mm klip (Fig. J.15):

Die patroon is min of meer soos verwag was, behalwe dat beide materiale heelwat baat gevind het wanneer die ander daarby gemeng is. 'n Interessante aspek is dat die ruimteverhouding weer gedaal het tot ongeveer 0,58 effens laer as vir 'n meng van 4,8 en 12 mm klip met minimum ruimteverhouding van 0,62. Verpakking kan dus dramaties verbeter word wanneer korelgroottes van materiale wat ondersoek word, grootliks verskil.

#### 4.3.16 Meng van optimum growwe aggregaat en optimum fyn aggregaat (Fig. J.16):

Verpakking van die optimum fyn aggregaat verbeter ietwat wanneer die optimum growwe aggregaat bygevoeg word. Die keerpunt is ongeveer by 40 - 45% fyn aggregaat in die meng waarna verpakking snel afneem as die fyn aggregaat afneem.

Hierdie bevinding word in die praktyk gesteun deurdat soortgelyke persentasies fyn aggregaat normaalweg in beton gebruik word.

Die lae ruimteverhouding van 0,2 is laer as al die ruimteverhoudings wat verkry is vir die verskillende mense, behalwe vir die geval waar die optimum fyn

aggregaat gemeng is met 19 mm klip wanneer soortgelyke en selfs ietwat laer ruimteverhoudings (0,19) verkry is (Fig. J.19). In die geval van fig. J.10, is die fyn aggregaat persentasie egter ongeveer 50%, terwyl in hierdie geval die fyn aggregaat persentasie gedaal het tot ongeveer 40 - 45%.

#### 4.3.17 Twee praktiese gevalle (Fig. J.17 en J.18):

Om die metode te beproef, is twee gevalle uit die praktyk ondersoek waar werklike probleme ondervind is om die regte mengverhoudings te vind. Deur die kurwes soos in fig. J.17 en in fig. J.18 op te stel, kon die optimum mengverhoudings vir maksimum verpakking vasgestel word. Hierdie menge is daarna deur die betrokke fabrieke met baie goeie gevolge beproef. Hierdie praktiese benadering boesem dus heelwat meer vertroue is as enige teoretiese benadering wat tot dusver bekend is. Werklike materiaal kan getoets word.

#### 4.3.18 Menge van optimum sand met 19 mm klip (Fig. J.19) en optimum duinsand en 4,8 mm klip met 19 mm klip (Fig. J.20):

Wanneer die resultate van hierdie twee toetse met mekaar vergelyk word, kan die volgende afleidings gemaak word:

- (a) Vir die meng (Fig. J.19) waar growwe sand benut word, is die optimum verhouding ongeveer 50% fyn en 50% growwe toeslag. By die meng waar die optimum duinsand en 4,8 mm klip gebruik word as fyn toeslag, is die optimum verhouding ongeveer 75% fyn en 25% growwe toeslag. Weens die groot verskille in korrelgroottes, kan verwag word dat 'n lae persentasie 19 mm klip gebruik sal word. Die 19 mm klip of growwe aggregaat dien nou net as 'n

verskralingsmiddel van die fyn toeslag wat op sigself ook in staat moet wees om optimaal te verpak.

- (b) Die oorgangsgebiede vir die droogverdigte kurwes is in beide gevalle relatief groot en kan misleidend wees. Hierdie groot gebiede moet deels gewyt word aan segregasie wat vry algemeen voorkom as droë fyn aggremaat met 'n aggremaat met groot korrels gemeng word. Beide nat-verdigte menges gee redelike skerp gedefinieerde oorgangsgebiede. Die sand klou aan die klip vas, sodat 'n beter verspreiding van beide in die meng verkry word en segregasie uitgeskakel word naby die optimum gebied.
- (c) Die sneller afname van die ruimteverhouding by fig. J.20 dui daarop dat die verhoudings van duinsand, 4,8 mm klip en 19 mm klip, baie krities is en meer aandag moet geniet om presies die regte hoeveelhede te gebruik.
- (d) Die verpakkingsvermoë (ruimteverhouding 0,19) van die growwe sandmeng (Fig. J.19), is ietwat beter as die verpakkingsvermoë van die meng met duinsand en 4,8 mm klip met ruimteverhouding (RV) van 0,23. Laasgenoemde relatief lae syfer dui ook daarop dat dit wel moontlik is om goeie beton te maak met duinsand as enigste fyn aggremaat mits 4,8 mm klip ook effektief daarmee gebruik word. Weens die effense swakker verpakking met  $RV = 0,23$  teenoor 'n  $RV = 0,19$ ; moet ook verwag word dat die meng harder sal wees en dat meer water vir smering benodig sal word vir dieselfde werkbaarheid as vir 'n beton waarin growwe sand as fyn toeslag gebruik word.



- (e) Dit is interessant om daarop te let dat as 75% growwe sand gebruik sou word, die RV ook ongeveer 0,23 is, wat dieselfde is as dié vir die meng met duinsand en 4,8 mm klip. Omdat growwe sand beter in staat is van korrelstuiting van die 19 mm klip te beperk, word meer 19 mm klip dan ook beter benut om die RV verder te verlaag. By nat verdigting begin beide die optimum sand en die optimum duinsand en 4,8 mm klip by ewe groot ruimteverhoudings van 0,28. Dieselfde ruimteverhoudings van fyn toeslag waarborg dus nie sy doeltreffendheid om korrelstuiting in 'n growwe toeslag te bestry nie.

4.3.19 Meng van optimum growwe en optimum fyn toeslag teenoor sement (Fig. J.21):

- (a) Die optimum mengverhouding by nat verpakking soos dit in beton sal voorkom, is ongeveer 10% sement per absolute volume of 11,4% per massa of ongeveer 254 kg sement per  $m^3$  as die massa van die toeslag saam met die sement geneem word as 2 230  $kg/m^3$  of as die water ook bygereken word, as 2 400  $kg/m^3$ . Met meer sement neem die verpakkingsvermoë af sodat daar gestrewe moet word na minimum sement in 'n betonmeng. Hierdie bevinding verklaar nou waarom beton met groot aggremaat/sement verhoudings ietwat hoër sterktes gee as beton met lae aggremaat/sement verhoudings.
- (b) Die volgende tabel kan nou opgestel word vir beton met werkbaarhede van ongeveer 50 mm uitsakking en waarvan die watervereistes gemeet is:

Persentasie sement per totale absolute volume	Watervereiste kg/m <sup>3</sup> beton	Sementinhoud kg/m <sup>3</sup> beton	Water/sement verhouding
9%	171	228	0,75
18%	203	444	0,46
27%	250	636	0,39
37%	264	845	0,31

Tabel 4.1: Persentasies sement teenoor watervereiste en sement inhoud per m<sup>3</sup> beton.

Normale beton met sterkte van 20 tot 25 MPa, bevat gewoonlik in die orde van 300 kg sement per m<sup>3</sup>, maar as 'n goeie sand met lae watervereiste gebruik word kan die syfer tot laer as 300 kg sement/m<sup>3</sup> beton daal. 'n Beton met lae sement inhoud verloor dus nie veel wat verpakkingsvermoë betref nie.

- (c) Die "droë" kurwes lê weer onder die "nat" kurwes waar sement oorheersend raak, sodat dit wil voorkom dat beton so "droog" moontlik verdig moet word met dië voorbehoud dat die beton nog verdigbaar moet wees.

#### 4.3.20 Meng met optimum fyn toeslag en optimum 19 mm klipinhoud teenoor sement (Fig. J.22):

Dieselfde gevolgtrekkings kan gemaak word soos in 4.3.19 beskryf is.

Die volgende tabel kan weer opgestel word vir 'n beton met werkbaarheid van ongeveer 50 mm uitsakking vanaf gemete watervereistes.

Persentasie sement per totale absolute volume	Wattervereiste kg/m <sup>3</sup> beton	Sementinhoud kg/m <sup>3</sup> beton	Water/semēt verhouding
9%	186	223	0,83
18%	203	443	0,46
27%	246	638	0,39
46%	313	999	0,31

Tabel 4.2: Persentasies sement per totale absolute volume teenoor wattervereiste en sement inhoud per m<sup>3</sup> beton.

4.3.21 Meng van optimum growwe sand en 19 mm klip teenoor sement (Fig. J.23):

Dieselfde gevolgtrekkings soos in die vorige 2 paragrawe geld:

Die volgende tabel kan weer opgestel word vir 'n beton met werkbaarheid van ongeveer 50 mm uitsakking en gemete wattervereistes.

Persentasie sement per totale absolute volume	Wattervereiste kg/m <sup>3</sup> beton	Sementinhoud kg/m <sup>3</sup> beton	Water/semēt verhouding
9%	171	227	0,75
18%	188	451	0,42
27%	234	648	0,36

Tabel 4.3: Persentasies sement per totale absolute volume teenoor wattervereiste en sement inhoud per m<sup>3</sup> beton.



#### 4.3.22 Meng van optimum growwe sand en optimum growwe toeslag teenoor sement (Fig. J.24):

Dieselfde gevolgtrekkings soos in die vorige 3 paragrawe geld.

Die volgende tabel kan weer opgestel word vir beton met werkbaarhede van ongeveer 50 mm uitsakking:

Persentasie sement per totale absolute volume	Waternvereiste kg/m <sup>3</sup> beton	Sementinhoud kg/m <sup>3</sup> beton	Water/sement verhouding
9%	155	232	0,67
18%	189	452	0,42
27%	226	656	0,34

Tabel 4.4: Persentasies sement per totale absolute volume teenoor waternvereiste en sement inhoud per m<sup>3</sup> beton.

#### 4.3.23 Optimum meng van 19 mm klip met optimum duinsand en 4,8 mm klip teenoor sement (Fig. J.25):

(a) Die prentjie is soortgelyk aan diè van vorige betonmenge. 'n Lae sement inhoud geld weer en 'n verrassende goeie verpakking met ruimteverhouding van 0,19 word verkry.

(b) Die meng by optimum toestande is egter hard en nie so werkbaar soos by growwe sandmenge nie. Dit kort ook 'n mate van plastisiteit en samehangendheid. Die waternvereiste is ook hoër by optimum toestande soos blyk uit tabel 4.5. As 'n mens egter minder water gebruik, die droeër voorkoms van die meng verontagsaam en die beton plaas met behulp van goeie

trilbewerking sodat maksimum verpakking verkry word, vergelyk dit baie goed met enige ander beton. Tydens verdigting kan op sy slegste segregasie van water verwag word, maar agterna bloeiing word nie verwag nie weens die goeie verpakking. Hierdie beton behoort goed te werk by vooraf vervaardigingsprosesse waar triltafels of bekisting trillers gebruik word. Handverdigting sal nie so goed werk nie, tensy 'n oormaat water gebruik word.

Persentasie sement per totale absolute volume	Wattervereiste $\text{kg/m}^3$ beton	Sementinhoud $\text{kg/m}^3$ beton	Water/sement verhouding
9%	217	217	1,0
18%	233	431	0,54
27%	249	641	0,39

Tabel 4.5: Persentasies sement per totale absolute volume teenoor wattervereiste en sement inhoud per  $\text{m}^3$  beton.

- (c) Die betonmeng skyn uiters sensitief te wees teenoor water. 'n Klein bietjie water te veel kan dit slap maak, terwyl 'n klein bietjie water te min dit 'n droë en harde voorkoms gee. Dit wil voorkom dat goeie verdigting ook verkry kan word by ietwat laer wattervereistes.

#### 4.3.24 Optimum duinsand en 4,8 mm klip met optimum 12 mm klip teenoor sement (Fig. J.27):

- (a) Die optimum verhouding van 12 mm klip met 'n optimum meng van duinsand en 4,8 mm klip (Fig. J.26) is weer ongeveer 25% van 12 mm klip inhoud, wat presies dieselfde is soos verkry by die 19 mm klipmeng. Die

resultaat is nie verrassend nie, omdat die 19 mm klip en die 12 mm klip se verpakkingsvermoë nie veel verskil nie (Fig. J.12). Weer kan afgelei word dat die 12 mm klip slegs as verdunner optree vir die duinsand en 4,8 mm klipmeng en sy korrelgrootte dus nie veel saak maak nie.

(b) Dieselfde gevolgtrekkings kan gemaak word soos beskryf in die voorgaande paragraaf 4.3.23. Die watervereistes is ook presies dieselfde as vir die meng met 19 mm klip en tabel 4.5 sal dus ook hier geld.

(c) Growwer growwe aggregraat sal dus alleenlik die watervereiste voordelig beïnvloed as dit nie net as verdunner gebruik word nie, maar ook benut word om self as 'n verpakkingsmateriaal op te tree. Groter hoeveelhede growwe aggregraat word dan gebruik.

#### 4.4 Gevolgtrekkings in verband met verpakking:

Powers gee in sy boek "The Properties of Fresh Concrete"<sup>(21)</sup> 'n redelike teoretiese uiteensetting van verpakking wanneer twee materiale met verskillende korrelgrootte strukture wat grootliks verskil in korrelgroottes, met mekaar vermeng word. Hoewel die verkreeë figure verklaar kan word, help dit nog nie om teoreties 'n toestand van beste verpakking te voorspel nie. Al sou die meng hoeveelhede van die verskillende materiale volgens Powers se metode bepaal kan word, is daar nog geen aanduiding van hoe effektief verpakking is nie.

Die voortreflikheid van die vormfaktor van Powers se houers en die akkuraatheid van sy volume metings kan ook bevraagteken word. Powers se teorie kan moontlik op enkele van die toetse toegepas word, maar dit is veels te min vir



'n wetenskaplike bewerking en die gevolgtrekkings blyk meer van akademiese as praktiese belang te wees. Powers rapporteer ook niks oor toetse op natverdigte menge nie.

Wanneer al die toetse met mekaar vergelyk word, kan die volgende afleidings gemaak word:

- (a) Die meeste onderlinge voordeel met verpakking word behaal wanneer die maksimum korrelgroottes van die verskillende materiale die grootste verskil toon. Sien fig. J.1; J.4; J.5; J.7; J.10; J.17; J.18; ensovoorts.
- (b) Wanneer 'n goedgegradeerde fyn materiaal of een wat op sigself goed verpak, gemeng word met 'n ander growwer materiaal is die voordeel vir die gegradeerde materiaal gering. Dit betaal dus om 'n goedgegradeerde fyn toeslag (sand) te gebruik in 'n betonmeng (Fig. J.1; J.8; J.10; J.13; J.16; J.19 en J.20).
- (c) Goeie verpakkingsvermoë van die fyn toeslag het by verre 'n groter voordeel op finale verpakkingsvermoë (Fig. J.16).
- (d) Die kleinste ruimteverhouding (RV) behaal deur growwe materiaal, blyk in die orde van 0,58 te wees (Fig. J.11; J.14; en J.15).
- (e) Die kleinste RV vir growwe toeslag word verkry wanneer 4,8 mm klip deel van die meng is (Fig. J.11; J.14; en J.15). Hierdie bevinding is nie verrassend nie en steun bevinding (a) hierbo.
- (f) Die kleinste ruimteverhouding (RV) vir 'n meng waar fyn toeslag met optimum mengverhouding gebruik word, blyk in die orde van 0,18 tot 0,20 te wees (Fig. J.10;

J.16; en J.19). Die meng van optimum fyn aggremaat met 19 mm klip, gee die beste verpakking as die meng nat is. As die meng droog is, is die minimum RV ongeveer 0,24 - 0,25. Indien duinsand weggelaat word, word verpakking effens verbeter na RV ongeveer 0,16 wanneer die meng nat verdig word en na ongeveer 0,21 wanneer dit droog verdig word. Duinsand gee in dié geval dus nie 'n verbetering in die meng nie, maar kan 'n deel van die growwe sand vervang en aldus goeie sand bespaar (Fig. J.23 en J.24).

- (g) By al die natverdigte growwe aggremaatmenge lê die "nat" kurwe bokant die "droë" kurwe. Droë verpakking is dus beter as nat verpakking. Soos reeds gemeld, wil dit voorkom dat die water die stof van die klip verwyder en sodoende die wrywing verhoog. Stofbedekte droë klip verpak blykbaar beter en ondervind minder wrywing.
- (h) Effektiewe verdigting geskied die gouste wanneer beste verpakking van materiaalsoorte verkry word. Daar is dus 'n ekstra bonus ten opsigte van minimum verdigtingstyd by beste verpakking.
- (i) Sement verpak ook beter as dit droog is. Die kleefwater en die hidraat wat om die baie klein sement korreltjies begin vorm het, hou die korrels verder vanmekaar. Die direkte kontak tussen die korrels word dus verstoort. 'n Verswarende faktor is ook dat die korrels met groter kragte aan mekaar kleef deur middel van oppervlak spanning en die nodige mobiliteit vir goeie verpakking belemmer. Powers en andere het ook gevind dat by baie fyn poeiers, waarby sement gereken kan word, die tussenkorrelkragte groot kan wees en verpakking belemmer.

- (j) Die beste verpakking word verkry by nat verdigting van beton by 'n lae sement inhoud. By groter sement inhoude, is droë verdigting beter, maar die ruimte-verhouding is hoër. Baie skraal betonmenge kan dus nat verdig word terwyl ryker mengte beter behoort te verpak as beton met so min water as moontlik verdig word. Die droë mengte sal natuurlik meer energie vereis as die natter mengte (Fig. J.21 - J.25 en J.27).
- (k) Beton gemaak met optimum fyn en growwe toeslag in optimum verhoudings asook beton gemaak met optimum fyn toeslag en 19 mm klip en 'n goed gegradeerde growwe sand en 19 mm klip in optimum verhoudings, toon dat 'n lae sement persentasie benodig word vir optimum verdigting. By nat verdigting word ongeveer 10% sement per absolute volume gebruik, terwyl by droë verdigting die syfer styg na moontlik 15 - 20%, maar in dié geval word hoër ruimteverhoudings verkry wat op 'n ietwat swakker verpakking dui (Fig. J.3; J.4 en J.21 - J.25).
- (l) Weens die relatief geringe invloed wat sement het op die verpakking van 'n betonmeng by optimum toestand en by laer sement inhoude, is die metode om 'n meng te vind met minimum RV en dan sement by te voeg vir die nodige sterkte, regverdigbaar. Die belangrikste element van mengontwerp is dus om materiaal te vind wat so met mekaar vermeng sodat 'n minimum RV verkry word. Hoe nader hierdie waarde aan  $RV = 0,20$  kom, hoe beter sal die resultate wees. Voortvloeiend hieruit is dit nou ook duidelik waarom sementinhoud by normale betonsoorte (laer as 35 MPa sterktes) nie veel invloed op die watervereiste van 'n meng het nie.
- (m) Sement inhoude groter as dié benodig vir optimum verpakking met die toeslag, veroorsaak groter watervereistes vir die betrokke meng asook groter



ruimteverhoudings of swakker verpakings (Tabelle 4.1 - 4.5).

- (n) 'n Ruimteverhouding van laer as 0,16 is nie verkry nie en dit wil voorkom dat 'n goeie gemiddelde verpakking bereik word by 'n RV in die omgewing van 0,20 of net daaronder, by 'n nat verdigte betonmeng.
- (o) Droë verpakings het gewoonlik groter oorgangsgebiede as nat verpakings en die grens van optimum verpakking is soms nie so skerp afgemerkt nie as by nat verpakings. Tereg merk Powers op dat toetse op droë verpakking nie altyd betroubaar is vir ontleding nie. Nat verpakking gee oor die algemeen beter resultate en aangesien beton nat verdig word, word nat verpakings-toetse sterk aanbeveel. Droë verpakkingstoetse is wel nuttig as kontroles (Fig. J.5; J.8; J.19; J.21 en J.22).
- (p) Waar beton nat verdig word, moet al die tussenruimtes in die meng na verdigting gevul wees met water. Die hoër ruimteverhoudings in die gebiede waar sement oorheersend is, dui daarop dat nat verdigte beton, potensieël 'n oormaat water bevat. Aangesien die oorgang na hoër ruimteverhoudings in die omgewing van 10% sement per absolute volume (of ongeveer 12% per massa) begin, kan weer aangevoer word dat in die 10% gebied die watervereiste nie veel beïnvloed word deur klein veranderings in sementinhoud nie. Dit stem ooreen met die praktyk waar gevind word dat by matige sementinhoude in die omgewing van 300 kg sement per m<sup>3</sup> beton 'n klein verandering in sement inhoud nie die watervereiste van die meng beduidend beïnvloed nie. By groter sement inhoude speel sement wel 'n beduidende rol ten opsigte van watervereiste.

- (q) Aangesien baie lae sement inhoude laer as 9% sement per absolute volume of sê 220 kg sement per  $m^3$  beton, wel die verpakking van die toeslag ietwat verbeter, beteken dit dat 'n klein toename in sement inhoud ook werkbaarheid sal verhoog weens beter verpakking. 'n Soortgelyke verskynsel kom by sand voor. 'n Growwe sand met 'n groot watervereiste vir 'n sekere werkbaarheid, se watervereiste vir dieselfde werkbaarheid kan dikwels verlaag word deur 'n goedgekose fyn sand by te voeg.
- (r) Met 'n baie lae sement inhoud kleiner as 9% per absolute volume, behou die toeslag (fyn en growwe aggremaat) basies sy korrelstruktuur en vul die sement van die tussenruimtes. Indien meer as 10 - 15% sement gebruik word, begin die sement self sy eie korrelstruktuur handhaaf en dan is dit nie meer 'n kwessie van net tussenruimtes vul nie en sal die tussenruimtes oorvul word. Die metode om mengontwerp te doen volgens die tussenruimte verhoudings van die growwe en fyn toeslag en waar aanvaar word dat die rol van die sement hoofsaaklik is om tussenruimtes te vul, kan dus nie veralgemeen word nie en moet beskou word as 'n metode met baie beperkte toepassing.
- (s) Waar 'n goeie growwe sand soos in dié geval gebruik is, lyk dit of byvoeging van duinsand nie veel verbetering meebring nie. Vergelyk figure J.3 met J.4 en J.21 - J.22 met J.23 - J.24. Duinsand sal in sulke gevalle dus nie aangewend word om gradering en verpakking te verbeter nie, maar slegs om 'n deel van die growwe sand te vervang. Waar duinsand dus 'n oorlas of 'n afval produk is, kan dit wel benut word om growwe sand te bespaar of om beton te vervaardig mits 4,8 klip ook bygevoeg word.

(t) Opsommenderwys kan die volgende opmerkings gemaak word vir gevalle waar slegs duinsand sonder growwe sand, in betonmengen gebruik word:

- (i) Die beton is besonder watersensitief. 'n Klein verandering in toegevoegde water het 'n groot invloed op die voorkoms en werkbaarheid van die meng.
- (ii) Oor die algemeen het die duinsand mengte, hoewel maklik verdigbaar, 'n droë harde voorkoms met nie veel samehangendheid of plastisiteit nie. 'n Klein oormaat water neig ook tot segregasie. Die meng moet dus so droog moontlik gehou word sodat die sand en sement aan die groter korrels kan vaskleef en plasings-segregasie beperk.
- (iii) Die mengverhoudings en selfs water is baie krities. Vir goeie resultate moet 'n baie goeie kontrole oor beton vervaardiging gehandhaaf word.
- (iv) Die werkbaarheidsbegrip van die meng moet nou liefs vervang word met 'n verdigbaarheidsbegrip. Die uitsakkegeltoets word nou nie as 'n goeie maatstaf vir werkbaarheid beskou nie. Sodoende kan die watervereiste ook verminder word tot 'n minimum, want die gevaar is groot dat 'n mens sal neig om meer water by te voeg om aan te pas by die voorkoms van 'n normale beton.
- (v) Die oënskynlike watervereiste is ietwat groter, ongeveer 30 - 35 kg water/m<sup>3</sup> beton meer as vir normale beton vervaardig met goeie sand. As 'n swakker sand gebruik word en die watervereiste styg tot 200 - 210 kg water/m<sup>3</sup> beton dan is die



duinsand beton baie beslis sterk mededingend. 'n Hoër watervereiste moet verwag word, want die aantal korrelgroottes in die meng is dikwels beperk tot slegs 4, naamlik die sement, duinsand met korrelgroottes tussen 0,075 en 0,150 mm, 4,8 mm klip en 12 of 19 mm klip. Enige oormaat water sal dus vinnig uitbloei en mag selfs bo-op die beton verskyn tydens en net na verdigting.

- (vi) Intensiewe trilbewerking is noodsaaklik en bekistingtrillers behoort baie goeie resultate te gee. 'n Gladder afwerking kan ook verwag word.

## - HOOFSTUK 5 -

### GRADERING

#### 5.0 Graderingskurwes:

Oor die jare het 'n hele aantal navorsers gesoek na 'n wyse om ideale graderings van die toeslag (fyn en grof) van beton te beskryf. Elkeen het dan na vore gekom met sy ideale kurwe, wat gewoonlik goed gepas het by sy omstandighede. Min word egter gesê oor wat om te doen as die betrokke toeslag se gradering sou afwyk en selfs drasties sou afwyk van die ideale kurwe. Dit wil voorkom of die meeste mense net gesoek het na die ideale kurwe en dan so na as moontlik daaraan probeer bly het by afwykende graderings.

Ideale graderings kom selde in die natuur voor. In verskeie lande is die probleem oorkom deur die betrokke materiaal eers te was en dan te sorteer in sekere grootte groepe. Kleiner groepe van sekere korrelgroottes kan dan gemeng word in bepaalde persentasies van elk, totdat die ideale kurwe verkry is. In Switserland en op die Vasteland geniet die ideale Fuller-kurwe groot aansien en word steeds wyd toegepas as 'n basis vir mengontwerp. Hierdie kurwe is voorheen ook wyd gebruik in die V.S.A. totdat sy gebreke so onaanvaarbaar geword het dat na ander metodes gesoek is om menige te ontwerp.

In Switserland word fyn toeslag verkoop in groottes 0 - 1, 1 - 3 en 3 - 5 mm. Die mooi geronde en gepoleerde korrels en ook die keuse van 3 korrelgrootte groepe, verleen hul dan ook gunstig vir gebruik by die ideale kurwe van Fuller of ander ideale kurwes.

Skrywer het self die ondervinding in Switserland gehad deur 'n meng te ontwerp soos dit in die R.S.A. gedoen word. Die fyn toeslag is so gekies dat min of meer 'n reguit lyn gradering daarvan sou verkry word. 'n Skatting van 'n watervereiste van  $170 \text{ l water/m}^3$  vir 19 mm maksimum aggregaat grootte is beskou as redelik optimisties, maar dit het spoedig geblyk oor pessimisties te wees. Deur verskeie hoeveelhede fyn materiaal by te voeg na goeddunke en deur die karakter van die meng deeplik in aanmerking te neem, is uiteindelik 'n aanvaarbare meng verkry met 'n byna ongelooflike watervereiste van tussen 150 en 155 l water/m<sup>3</sup> beton vir 'n uitsakking van 50 mm vir 19 mm maksimum aggregaat grootte. Toe die meng uiteindelik ontleed is, is gevind dat die graderingskurwe verbasend naby die ideale Fuller-kurwe lê.

In die R.S.A. kan op die luuksheid van sand in kleiner groepe te koop, nie staatgemaak word nie. Die verskillende aggregate, fyn en grof, verskil hier hemelsbreed van plek tot plek en selde kan staatgemaak word op ideale teksboek graderings of op ekonomiese samevoegings om naby so 'n ideale kurwe te kom. Aangesien een van die groot voordele van beton juis is dat van plaaslike materiaal gebruik gemaak kan word, word dit noodsaaklik om aggregaat te gebruik soos hulle ontgin of verkry word. Mengsels van fyn aggregaat vanaf verskillende bronne om die algehele gradering te verbeter, moet natuurlik aangemoedig word, maar soms is sulke menne nog vol gebreke as hul graderings vergelyk word met dié van die ideale kurwes.

Aangesien in voorgaande nou 'n metode gevind is om beste verpakking te evalueer en te verkry deur verskillende materiale met mekaar te meng, kan weer gekyk word na graderingskurwes. Goeie graderings kan nou ten minste vergelyk word met goeie verpakking en kan daar gesoek word na ooreenkomste sodat 'n mens gouer kan besluit op beste



mengverhoudings en die moeisame verpakkingstoetse vermy. Aangesien verskillende korrelgroottes die verpakingsproses beïnvloed, behoort daar sekerlik erens 'n verband te wees tussen verpakking en korrelgrootte-verspreiding of gradering. Die beginsels van gradering en sprong-gradering, soos verduidelik in paragraaf 3.2.2, kan nou verder uitgebrei word tot groter spronge in die graderingskurwes.

Voordat die huidige toetsresultate bespreek word, is dit nodig dat daar ook vlugtig gekyk word na wat vorige navorsers bereik het.

#### 5.1 Die Mercer<sup>(23)(24)</sup>kurwes:

L. Boyd Mercer het reeds in 1953 sekere basiese graderingskurwes vir betonmenge voorgestel. Sy kurwes het egter sement inhoude ingesluit sodat vir elke verskillende sement inhoud 'n ander basiese kurwe geld. Dit beteken ook dat 'n mengontwerper 'n hele rits basiese graderingskurwes beskikbaar moet hê vir gebruik. Hy maak ook deeglik gebruik van balansering van kurwes, maar die afwykings van die basiese kurwes is gewoonlik klein, sodat dit 'n mens laat wonder wat hy sou doen in die geval van groot spronge in die gradering. Dit wil voorkom dat die Fuller kurwe sy basiese kurwes sterk beïnvloed het.

Indien die basiese graderingskurwe soos aanstons bespreek sal word, toegepas word op die Mercer kurwes, klop hulle nie alleen baie goed met die huidige bevindings nie, maar dit verklaar ook waarom sekere van die Mercer menge wat beskryf word nie so goed gewerk het nie.

## 5.2 Fuller<sup>(21)(25)</sup>kurwes:

Aangesien die Fuller kurwes nog in sekere kringe gebruik word en blykbaar met 'n mate van sukses is dit nodig om hulle ook van naderby te beskou. Die kurwe word met die volgende matematiese vergelyking beskryf.

$$P_d = 100 \sqrt{\frac{d}{D}} \quad \dots(5.1)$$

waar  $P_d$  = Totale persentasie toeslag kleiner as 'n sekere sif-opening  $d$ .

$d$  = Sif-opening grootte van die betrokke sif waardeur al die orige korrels gegaan het.

$D$  = maksimum sif-opening grootte waardeur alle korrels sal gaan of dit kan ook teoreties die minimum sif-opening voorstel waardeur alle korrels sal gaan.

Die grootste beswaar teen die kurwe is dat dit die basislyn, waar daar geen korrels deur die kleinste sif sal gaan nie, asimptoties nader. Dit veronderstel dus dat sif-opeeninge oneindig klein moet wees om geen materiaal deur te laat nie. Byvoorbeeld as die maksimum korrelgrootte ( $D$ ) in die meng 19 mm is, dan behoort ongeveer 8,9% van die totale meng deur die 0,150 mm sif ( $d$ ) te gaan of ongeveer 6,3% deur die 0,075 mm sif ( $d$ ). Deur alle siwwe kleiner as hierdie sal daar dan ook kleiner wordende persentasies materiaal deurgaan.

In 'n gewone mengontwerp met 'n deurlopende gradering, is 9% van die totale materiaal - sement plus toeslag - waarskynlik reg, maar dit lê die beperking op die mengontwerper om nou die sement, fyn en growwe toeslag saam te kombineer om die Fuller kurwe te gee. As die sement bygereken word, is die hoeveelheid van 9% deur die 0,150 mm sif waarskynlik te klein en dit hou ook nie rekening met die feit dat soms meer sement nodig is om sterker beton te lewer nie. Die mengontwerper verkies egter om net met die fyn en growwe toeslag te



werk vir hul beste kombinasie om die beste verpakking te gee. As die gradering van die toeslag reg is, sal soos tevore getoon, die sement weinig bydra tot verpakking en as dit te veel word, eerder verpakking benadeel.

Indien die fyn toeslag dus in kleiner korrelgrootte bestekke verkrygbaar is soos in Switserland byvoorbeeld waar 0 - 1, 1 - 3 en 3 - 5 mm groottes verkry kan word en al die bestekke is beskikbaar, dan sal dit moontlik wees om die Fuller kurwe sonder probleme te benader. Die probleem kom onmiddellik wanneer die graderingsbestek 0 - 4,75 is of wanneer daar 'n groot gaping in gradering voorkom. Derhalwe is dit nie moontlik om die Fuller kurwe in die R.S.A. onder plaaslike toestande sonder meer aan te wend nie.

Voorstaanders van die Fuller kurwe pas dit slegs op die totale betonmeng toe en nie afsonderlik op die fyn en growwe toeslag nie. Indien hul dus 'n fyn toeslag met graderingsbestek 0 - 4,75 mm sou kry, is hulle ietwat verlore om die geskiktheid as betonmateriaal te evalueer. Dieselfde geld vir die growwe toeslag.

Die sukses wat oorsee met die Fuller kurwe behaal is, bevestig die meriete van die kurwes. Soos reeds getoon, moet volgens die Fuller kurwe vir 19 mm maksimum grootte aggregaat, ongeveer 9% van die totale meng deur die 0,150 mm sif gaan. Van 'n gewone goeie fyn toeslag van 0 - 4,75 mm bestek word verwag dat minstens 6 - 10% van die fyn toeslag deur die 0,150 mm sif moet gaan omdat dit juis hierdie deel is wat die plastisiteit en samehangendheid van die meng verseker. Volgens kurwes J.21 tot J.27, blyk dit dat vir goeie verpakking ongeveer 11 - 12% sement per totale massa sement plus toeslag, nodig is. In baie gevalle word meer as 12% sement benodig om die regte sterkte te verkry. Alle sement sal deur die 0,150 mm sif gaan sodat 'n sement tekort voor hande is as daar nog van die toeslag ook deur die 0,150



mm sif moet gaan en saam met die sement maar net 9% sal uitmaak. Hierdie punt op die Fuller kurwe is dus te laag en dit wil voorkom dat die Fuller kurwe in die fyn toeslag gebied van die meng juis sy swakste prestasie lewer.

Een opvallende eienskap is dat ongeveer 50% van die totale meng deur die sif met openingswydte  $1/4$  van die maksimum korrelgrootte in die meng gaan wanneer die growwe toeslag bygereken word. Anders gestel, beteken dit dat 50% van die totale meng moet agterbly op die sif wat 2 sifgroottes volgens die standaard sifreeks, kleiner is as die sifgrootte wat die maksimum korrelgrootte aandui.

### 5.3 Die voorgestelde basiese kurwe:

Die verlangde sterkte van die beton en die watervereiste vir die meng, bepaal die sementinhoud van die meng. Die watervereiste is 'n direkte uitvloeisel van die gehalte en gradering van die toeslag, fyn en grof, tesame. Soos reeds getoon, sal die sementinhoud vir optimum verpakking onder gewone omstandighede moontlik net te min wees vir die sterker en duursamer tipe beton. Sementinhoude moet dus maar aanvaar word soos benodig; of hulle nou optimum toestande in die hand werk of nie. Daarom is dit net logies dat 'n mens eerder moet konsentreer op die fyn en growwe toeslag, eers afsonderlik en daarna gesamentlik.

Eie ondervinding en nou soos op 'n empiriese basis bewys asook dié van ander navorsers<sup>(15),(23)</sup>, dui daarop dat wanneer die gradering geteken word op 'n log-sifgrootte basis teenoor die persentasies wat op elke sif sou agterbly, 'n reguitlyn gradering waarskynlik die ideale gradering is wanneer fyn en growwe toeslag elk afsonderlik beskou word. Dit kan ook getoon word dat die beste verpakking verkry word by sulke reguitlyn graderings. Fyn en growwe toeslag kan dus op hierdie wyse afsonderlik evalueer word.

Indien die totale toeslag 'n beduidende hoeveelheid korrels kleiner as 0,150 mm en groter as 0,075 mm het soos by duinsand dikwels die geval is, moet die basiese graderingskurwe by 100% op die 0,075 mm sif of geen deur die 0,075 mm sif teenoor die 0,075 mm sif begin. 'n Basiese graderingskurwe kan dus verkry word deur hierdie punt met 'n reguitlyn te verbind met die 50% lyn van die sifgrootte wat 2 sifgroottes kleiner is as die maksimum sifgrootte of korrelgrootte. 'n Verdere reguitlyn word nou gebruik om die 50% lyn te verbind met die maksimum korrelgrootte sif. Wanneer hierdie basiese lyn geteken is, is dit nou net nodig om die meng gradering om hierdie lyn te balanseer, met ander woorde om te sorg dat die oppervlakte van die deel van die kurwe bokant die basislyn en die basislyn min of meer gelyk is aan die oppervlakte onder die basislyn en die graderingskurwe oor die hele bestek van die kurwe. Hierdie basislyn stel dan ook optimum gradering voor.

Indien die fyn toeslag gradering beduidend verloop tussen die 0,150 mm sifgrootte en sê byvoorbeeld die 4,75 of 2,36 sifgroottes moet daar egter 'n klein aanpassing gemaak word. Uit ervaring is gevind dat, om plastisiteit en samehangendheid van 'n betonmeng te verseker, 'n sekere minimum hoeveelheid ongeveer 3 tot 5% van die totale toeslag, fyner as 0,150 mm nodig is. In diè geval sou dit raadsaam wees om die beginpunt effens te verskuif na die 95% op die 0,150 mm sifgrootte en hierdie punt dan met 'n reguitlyn te verbind met die 50% op 2 sifgroottes kleiner as die maksimum korrelgrootte. (Sien Figure K.5 en K.6.)

Die maksimum nominale korrelgrootte is ook belangrik. By die 19 mm nominale klipgrootte is dit nie moeilik nie en is dit oënskynlik die 19 mm sifgrootte. As die 4,8 mm aggremaat beskou word, is dit duidelik dat 'n beduidende hoeveelheid (64%) agterbly op die 4,75 mm sif en dat die basiese maksimum korrelgrootte beskou moet word as die 9,5 mm sifgrootte. Dieselfde geld vir die 12 mm aggremaat waar



'n beduidende hoeveelheid (81%) agterbly op die 9,5 sif en die maksimum korrelgrootte dus as 19 mm of halfpad tussen 9,5 en 19 mm beskou moet word. Die 50% draaipunt op die basiese kurwe is dan ook halfpad tussen 2 sifgroottes kleiner. Die norm vir 'n nominale aggremaatgrootte kan hier toegepas word waar 100 - 85% van die betrokke aggremaat deur sy nominale sif moet gaan.

#### 5.4 Bespreking van die resultate:

Die kurwes van figure K.3 tot K.8 is geteken vir optimum mengtoestande soos reeds bepaal in kurwes J.16, J.19, J.13, J.8 en J.10. In al hierdie gevalle is dit duidelik dat die graderingskurwes vir optimum verpakking gebalanseer word om die voorgestelde basiese reguitlynkurwes. In fig. K.10 is graderingskurwes vir duinsand teenoor 4,8 mm growwe aggremaat geteken en as dieselfde beginsel toegepas word vir die teken van die basiese lyn, blyk dit dat dit hier ook werk.

Daar moet ook op gelet word dat die kurwes besonder gevoelig is vir veranderings van fyn teenoor growwe toeslag en veral waar duinsand op die spel kom of waar daar 'n groot graderingssprong tussen fyn en growwe toeslag ondervind word. Dit bevestig die vorige bevinding (paragraaf 4.3.5) dat indien superfyn sand benut word, die hoeveelhede en mengverhoudings uiters krities is en dat geringe afwykings groot verskille in verpakking kan teweegbring. Menge met goeie growwe sand is nie so gevoelig nie, maar die kurwes dui ook vinnig aan watter verhoudings die beste gaan verpak.

Om die basiese kurwe verder te beproef, is die gebruik van 'n growwer seesand saam met superfyn duinsand en 'n optimum meng van 4,8; 12 en 19 mm aggremaat as growwe toeslag ondersoek. Eers is graderingsbalansering van superfyn duinsand en growwer seesand gedoen en daarna is die optimum



verpakkings met behulp van die verpakkingskurwes gedoen. Die beste fyn toeslag gradering sonder sement en die beste fyn toeslag gradering met sement is dan elk gebalanseer en met 'n optimum growwe toeslag meng van 4,8; 12 en 19 mm aggremaat. Voorts is hulle verpakkingskurwes ook bepaal en met mekaar vergelyk.

Maar om voor te begin, moet eers gekyk word na die metodes wat aangewend is om die beste gradering sonder en met sement te verkry. Aangesien die growwer seesand gegradeer is tussen 0,150 mm en 0,600 mm en die superfyn duinsand tussen 0,075 en 0,150 mm, is 'n basiese kurwe tussen 100% op 0,075 en 0% op 0,600 mm sif probeer. Volgens die balansering (fig. K.11) dui dit daarop dat 'n meng van 45% duinsand en 55% growwer seesand aanvaarbare gradering tussen 0,075 en 0,600 sal gee. As fig. K.15 ontleed word, blyk dit dat optimum verpakking eintlik by ongeveer 25% duinsand en 75% growwer seesand sou voorkom. Terselfdertyd dui dit ook aan dat die growwer sand sy oorheersende verpakkingsrol begin verloor by 45% duinsand en 55% growwer seesand en dat die oorgangskurwe begin. Volgens die oorgangskurwe lyk dit nie of die verpakkingsvermoë veel verskil tussen die 45/55 meng en die 25/75 meng nie.

Wanneer 'n mens krities na die 45/55 geval kyk en die groot hoeveelheid duinsand in die meng sien, kan redeneer word dat die duinsand se fynheid nie veel groter is as dié van die sement nie en dat sement beslis 'n deel van die duinsand se funksie sou kan vervang. Om die invloed van sement op verpakking te toets, is fig. K.16 opgestel vir 45/55 duin- tot seesand en sement mengte en vir 20/80 duin- tot seesand en sement mengte.

Dit blyk duidelik dat die 45/55 met sement mengte 'n swakker verpakking gee as die 20/80 met sement mengte. Hierdie resultaat moet tot 'n mate verwag word, want 'n sandmeng met

'n groot hoeveelheid duinsand se gemiddelde korrelgrootte is kleiner as 'n sand met min duinsand. Gevolglik is die verskil in korrelgrootte tussen sement en die 45/55 sand kleiner as die verskil in korrelgrootte tussen sement en 20/80 sand. Soos tevore reeds afgelei en volgens die ervaring van ander navorsers, is die verbetering in verpakking die grootste wanneer korrels grootliks van mekaar verskil in grootte.

Indien hierdie beter verpakking van die 20/80 meng ter harte geneem word, beteken dit dat indien na goeie verpakking eerder as na goeie gradering gesoek word, die graderingskurwes effens moet verander en dat 'n nominale sement inhoud ook in die graderingskurwes opgeneem moet word. Uit fig. K.16 blyk dit dat 'n gemiddelde volume persentasie sement van ongeveer 12 - 13% per volume min of meer optimum verpakking sal gee. Dit beteken in reële terme dat ongeveer 15% sement per totale massa gebruik moet word. Let op dat die 15% slegs van toepassing is op die fyn toeslag.

Die graderingskurwes vir sand en sement kan nou weer geteken word vir sement inhoude van 15% waar alle sement deur die 0,075 mm sif gaan. Indien 'n reguitlyn basiese kurwe nou weer vanaf die 100% op 0,075 sifgrootte na die 0% op 0,600 mm sifgrootte geteken word, blyk dit dat die 30/70 meng met 15% sement min of meer balanseer om so 'n basiese kurwe (fig. K.12). Dit klop baie goed met fig. K. 15 wat daarop dui dat optimum verpakking by ongeveer 27% per volume of 30% per massa verwag word.

Die vraag is nou hoe geldig die metode is en of die 15% beginpunt 'n mate van akkuraatheid of betroubaarheid besit. Uit die sement-sand toetse fig. J.2, J.3 en J.4 blyk dat sementinhoude van ongeveer 15% redelike goeie verpakking gee en min of meer by die optimum punt lê. Selfs in die duinsand-sement geval fig. J.2, is dit nie 'n baie sterk



uitgemaakte saak dat die sement inhoud nie so laag as 15% kan wees vir goeie verpakking nie. Die reguit basiese kurwe tussen 100/0,075 en 0/0,150 vorm weer min of meer 'n balanslyn soos gesien kan word in fig. K.13. Aangesien die graderingsperk net meer as een sifgrootte is, is dit miskien nie baie billik om in dié geval te veel te verwag van hierdie basiese kurwe nie. Tog is die resultaat bemoedigend.

As 'n mens kyk na die optimum duin- en growwe sand gradering en 'n basiese kurwe vanaf 100/0,075 na 0/2,36 sifgrootte teken, dan is die basiese kurwe feitlik ook 'n balanslyn (Fig. K.13). 'n Beter balans sal moontlik verkry kan word as daar 'n klein bietjie minder duinsand in die meng was. Indien fig. J.1 weer bekyk word, sal 'n bietjie minder duinsand nie veel verskil maak aan beste verpakking nie. Selfs die kurwe fig. K.13 vir optimum fyn toeslag (23/77 duin- tot growwe sand) meng kan doen met 'n bietjie minder duinsand. Die gevolgtrekking kan dus gemaak word dat goeie mengverhoudings van 2 sandsoorte wel met behulp van hierdie metode verkry kan word.

Die growwe sand met 15% sement kurwe klop nie mooi met 'n basiese kurwe 100/0,075 tot 0/2,36 sifgrootte nie (Fig. K.14). Soos tevore by die geval van growwe sand alleen as fyn toeslag gevind is, word 'n beter basiese kurwe verkry wanneer die 95%/0,150 verbind word met die 50%/4,75 mm punt op die kurwes (Figure K.5 en K.6). As dit vir 'n totale toeslag geld moet dit sekerlik ook vir die growwe sand alleen geld. Dit is nou interessant om op te merk dat as die 95%/0,150 punt verbind word met die 0%/2,36 sifgrootte word weer 'n basiese kurwe gevind wat die sement/growwe sandmeng se gradering balanseer.

'n Mens kan dus die algemene gevolgtrekking maak dat as daar 'n beduidende hoeveelheid materiaal deur die 150 mm sif gaan



kan die basiese kurwe by 100%/0,075 mm begin en verloop na die maksimum beduidende of effektiewe korrelgrootte. As daar egter nie 'n beduidende hoeveelheid sê minder as 10% deur die 0,150 mm sif gaan moet die basiese kurwe by 95%/0,150 begin en eindig by die maksimum effektiewe korrelgrootte.

Hoewel nie veel gedoen kan word aan 'n enkele beskikbare sandsoort nie, kan dit tog met vrug aangewend word vir wanneer die meng 2 sandsoorte moet bevat hetsy om die algemene gradering te verbeter of om 'n goedkoop sandsoort te benut. Wanneer superfyn duinsand benut word, is dit natuurlik baie wenslik dat 'n growwer sand ook bygevoeg moet word. Indien 'n growwe sand nie beskikbaar is nie, moet 4,8 mm (of 6 mm) aggremaat by die duinsand gevoeg word en saam as fyn toeslag gebruik word. Die verhoudings kan nou soos in fig. K.12 bepaal word. Daarna kan hierdie meng met 12 mm of 19 mm aggremaat gemeng word.

Indien die verhoudings van duinsand tot growwer seesand nou bekend is (Fig. K.15), kan die volgende stap volg, naamlik om die fyn toeslag te verbind met growwe toeslag. Verskillende mengpersentasies duin- en growwer seesand saam met optimum growwe toeslag (4,8; 12 en 19 mm) is nou ondersoek en die meng met optimum verpakking is bepaal (Fig. K.18). Aangesien sement beheer word deur ander faktore, is eerder gekyk na beste verpakking van die totale toeslag, fyn plus grof as na die invloed van sement op die totale meng.

Uit fig. K.18, waar 'n 45/55 sandmeng gebruik is teenoor optimum growwe toeslag en fig. K.20, waar 'n 30/70 meng gebruik is teenoor optimum growwe toeslag, blyk dit dat die werklike optimum verpakking van die 45/55 meng effens beter is as die 30/70 optimum verpakking. Dit klop weer met die bevinding dat wanneer die gemiddelde korrelgroottes van die menge grootliks verskil, is die verpakkingsvermoë effens

beter. Die resultaat is dus nie verassend nie, hoewel dit op die oog af teenstrydig is met die bevinding dat die 30/70 sandmeng beter verpak as die 45/55 meng wanneer dit met sement gemeng word.

Dit is dus effens van 'n probleem om tussen die twee sandmenge te kies bloot op grond van eie verpakking. Die verpakking van die 45/55 meng met optimum growwe toeslag, fig. K.17 en K.18, is egter nie soveel beter dat dit op grond daarvan verkies moet word nie (Fig. K.19 en K.20). As 'n mens egter na watervereiste per  $m^3$  kyk soos eksperimenteel bepaal vir 'n werkbaarheid van ongeveer 50 mm uitsakking vir 19 mm maksimum grootte aggremaat dan kan tabel 5.1 opgestel word. Let op dat vir beide gevalle het optimum verpakking voorgekom by 35% fyn toeslag saam met 65% growwe toeslag.

Sement g	Fyn toeslag g	Growwe toeslag g	Watervereiste/ $m^3$	
			45/55	30/70
600	1 890	3 510	208	195
1 200	1 680	3 120	224	216
1 800	1 470	2 730	257	253

**Tabel 5.1:** Watervereiste vir verskillende duin- en seesand  
menge onder optimum toestande.

Dit blyk dus dat die growwer meng 30/70 se watervereiste laer is as dié van die fyner meng 45/55 wat natuurlik te verwagte is. Let op dat die verskil in watervereiste by die laer sement inhoude ook groter is as wanneer 'n oormaat sement gebruik word. Dit klop weer met vorige bevindings, naamlik dat wanneer 'n oormaat sement waarskynlik meer as 15% gebruik word, die sement die verpakkingsvermoë oorheers ongeag die goeie gradering van die totale toeslag. Die



sement moet dan watervereiste sterk oorheers.

Wanneer 'n mens nou die karakter van die menge vergelyk, verskil die 30/70 meng en die 45/55 meng nie soveel vanmekaar nie. Vir laer sement inhoude neig die 45/55 meng om 'n bietjie meer plasties te wees as die 30/70 meng, maar ook nie weer soveel dat die 45/55 meng voorkeur moet geniet nie. In beide gevalle is dit duidelik dat die menge gedurig geroer moet word om hul werkbaarheid te behou. Beide menge is geneig om gou werkbaarheid te verloor sodra hul tot stilstand kom. Hierdie vermoë mag juis baie nuttig wees om segregasie teë te werk. Dit is ook een van die kenmerkende eienskappe van seesand beton waar die graderingsbestekke van die fyn toeslag kort is en 'n groot sprong tussen fyn en growwe toeslag volg dat beweging belangrik is om werkbaarheid te behou.

Die relatief hoë watervereiste dui ook daarop dat heelwat smeewater nodig is om werkbaarheid te verkry. Hierdie oormaat water kan op 'n vroeë stadium en selfs gedurende verdigting loskom. Die bloei aspekte sal egter in 'n volgende hoofstuk vollediger behandel word.

Alles inaggenome is dit dus duidelik dat voorkeur gegee moet word aan die 30/70 meng. Dit beteken dat die basiese graderingskurwe 100/0,075 tot 0/0,600 mm ook die balanslyn is vir die sandmeng waarby 15% sement per massa bygevoeg is (Fig. K.12). Die gevoeligheid van die meng teenoor duinsand moet weereens beklemtoon word asook die noodsaaklikheid van akkurate afmeting van hoeveelhede.

Wanneer nou op die fyn toeslag meng besluit is, kan die fyn toeslag met die growwe toeslag verbind word om die regte verhouding van fyn tot growwe toeslag te bepaal. Volgens figure K.17 en K.19 is dit duidelik dat ongeveer 35% fyn en 65% growwe toeslag gebruik moet word. Albei gevalle klop



goed met beste verpakking soos bepaal in figure K.18 en K.20. 'n Totale toeslag met 'n bevredigende gradering is dus gevind en al wat nou kortkom is om die sement by te voeg volgens sterkte verlang en die watervereiste van die meng.

Wanneer sement dan ook bygevoeg is, is gevind dat die morteldeel van die beton voldoende is en dat goeie verdigting wel moontlik is sodat 'n baie praktiese meng in werklikheid verkry is.

Die fyn toeslag mengmetode is verder beproef deur 'n duinsand en gruisstof uit die Ooskaap soos deur 'n klient verskaf, te toets. Die graderingskurwe van 25% duinsand en 75% gruisstof plus 15% sement is geteken in fig. K.21 terwyl fig. K.22 geteken is met dieselfde mengverhoudings maar sonder sement. Volgens fig. K.21 moet die gruisstof ietwat vermeerder word vir balans. Hierdie bevinding word gesteun deur fig. K.22 as 'n reguitlyn basiesekurwe tussen 100/0,075 en 0/9,50 mm siwe geteken word en ook deur 'n verpakkingskurwe wat geteken is.

Hoe moet hierdie twee kurwes in fig. K.21 en K.22 nou vertolk word? Fig. K.22 dui aan dat 'n reguitlyn gradering oor 'n bestek 0,075 na 9,50 mm sifgrootte verkry kan word. Netso kan in fig. K.9 gesien word dat 'n goeie graderingsbestek tussen 85%/0,300 en 5%/2,360 mm vir die growwe sand en 100%/0,075 en 5%/2,360 mm vir 'n optimum meng van duin- en growwe sand, verkry kan word.

Indien die fyn toeslag se gradering dus by 100/0,075 mm begin en deurlopend is, kan voorkeur verleen word aan kurwes soortgelyk aan fig. K.22 en vir die saamgestelde optimum duin- en growwe sandmeng in fig. K.9. As die algemene gradering nie by die 100/0,075 sif gaan of gemaak word om daar te begin nie, kan gesoek word na 'n kurwe wat die grootste bestek van reguitlyn gradering sal gee. Hierdie

kurwe kan dan met die growwe toeslag verbind word en kan gesoek word na balansering om die basiese kurwe soos in die vorige paragrawe voorgestel.

Wanneer die kurwes in figure K.12, K.13, K.14 en K.21 beskou word, is dit duidelik dat hulle moontlik gevoeliger is vir verandering en nie die kurwes in figure K.9 en K.22 weerspreek nie. Hulle is veral nuttig as daar 'n groot hoeveelheid materiaal deur die 0,150 mm sif gaan, maar op die 0,075 mm sif agterbly. Gevolglik is daar geen rede waarom hulle nie voorkeur kan geniet nie.

## 5.5 Gevolgtrekkings:

Die volgende gevolgtrekkings kan nou gemaak word:

- (a) Basiese graderingskurwes kan nou soos volg opgestel word:

### (1) Vir fyn toeslag:

Indien daar 'n beduidende hoeveelheid superfyn sand, byvoorbeeld 10% en meer van die fyn toeslag, deur die 0,150 sif gaan, voeg dan 15% sement by en teken die basiese kurwe vanaf 100/0,075 na die maksimum effektiwe korrelgrootte. As daar minder as ongeveer 10% sand deur die 0,150 sif gaan, voeg 15% sement by en teken die basiese kurwe vanaf 95/0,150 na die maksimum effektiwe korrelgrootte.

Die maksimum effektiwe korrelgrootte kan beskou word as een sifgrootte groter as dié waarop meer as 15% van die fyn toeslag agterbly. As daar minder as 15% op die sif agterbly, sal daardie sifgrootte die maksimum korrelgrootte voorstel. As daar byvoorbeeld meer as 15% op die 2,36 sif

agterbly, is die maksimum effektiewe korrelgrootte 4,75 mm en as daar minder as 15% op die 2,36 sif agterbly is die maksimum effektiewe korrelgrootte 2,36.

Hierdie 15% hoeveelhede is darem nie heeltemal willekeurig gekies nie. Volgens die Fuller-Thompson<sup>(25)</sup> konstruksie, kan die maksimum effektiewe korrelgrootte gevind word deur die 85% en 15% punte op die graderingskurwe te verbind en te verleng. Waar die verlengde kurwe die 0% lyn sny, sal die antilog van daardie lesing die maksimum korrelgrootte gee. 'n Lyn deur hierdie punte is dikwels ook die balanslyn vir die mengsoos aangedui word in figure K.9 en K.22. Uit hierdie en die ander figure blyk dit dat die 15% grens 'n baie praktiese grens is.

Vir eenvoud is in hierdie geval volle sifgroottes gekies. Dit is sekerlik moontlik om met behulp van Fuller se metodes die ware maksimum korrelgrootte vas te stel, maar aangesien sy metode ook maar empiries van aard is en sonder veel teoretiese agtergrond, is volstaan met volle sifgroottes.

Sodra die basiese kurwe vasgestel is, kan die fyn toeslag menge so gewissel word dat die kurwe ook die balanslyn is, met ander woorde dat die totale oppervlakte bokant die lyn balanseer met die totale oppervlakte onder die lyn.

(2) Vir growwe toeslag:

Probeer 'n reguitlyn oor die grootste deel van die graderingsbestek kry. Poog egter om soveel van



die grootste growwe aggregaat in die meng te kry as moontlik en werk spaarsaam met die fyner dele van die growwe toeslag. Behalwe in die uiterste gevalle waar die sand baie fyn is, sal die growwe toeslag bloot as materiaal verplaser optree sodat enkelgrootte growwe toeslag ook sal werk. Derhalwe is dit nie nodig om so erg te konsentreer op die growwe toeslag se gradering nie en veral as die 4,8 of 6 mm grootte saam met die baie fyn sand gereken word. In die meeste gevalle sal net 'n nominale grootte growwe toeslag beskikbaar wees. Slegs in uitsonderlike gevalle soos byvoorbeeld by hoë sterkte en hoë digtheid (swaar) beton sal ernstige aandag gegee word aan gradering van die growwe toeslag.

(3) Gesamentlike toeslag - fyn en grof:

Wanneer 'n beduidende hoeveelheid superfyn sand gebruik word, byvoorbeeld as meer as 5% van die totale toeslag (ongeveer 10% van die fyn toeslag) deur die 0,150 mm sif gaan, begin die basiese kurwe by 100%/0,75 sif gaan met 'n reguitlyn na 50% op die sif wat 2 sifgroottes kleiner is as die maksimum nominale korrelgrootte van die grootste aggregaat en dan verder met 'n reguitlyn tot 0% op die sif wat die grootste grootte aggregaat voorstel. Sien figure K.3, K.4, K.7, K.8, K.10, K.17 en K.19.

As die fyn toeslag deel wat deur die 0,150 sif gaan minder is as 5% van die totale toeslag, dan begin die basiese kurwe by 95% op die 0,150 mm sif en verloop verder soos hierbo beskryf.

Die maksimum nominale korrelgrootte sal weer soos

by die fyn toeslag hierbo definieer word. Dus as meer as 15% van die totale toeslag op 'n sif agterbly, word die volgende sifgrootte beskou as die maksimum nominale korrelgrootte en as minder as 15% op 'n sif agterbly, word daardie sif as die maksimum nominale korrelgrootte beskou.

Hierdie gesamentlike kurwe geld ongeag enige voorafgaande balansering van fyn of growwe toeslag.

- (b) Fyn toeslag wat superfyn sand benut is baie gevoelig vir verhoudingswisselinge tussen fyn en growwe toeslag en kan redelik gou gebalanseer word. Dieselfde geld vir 'n toeslag waarin daar 'n groot graderingsprong voorkom. Hierdie afleiding geld ook vir die meeste seesand soorte wat alleen gebruik word as fyn toeslag.
- (c) Oor die algemeen sal toeslag wat volgens bostaande metodes gebalanseer en gemeng word, optimum verpakking gee. Die klem moet egter val op balansering van die gesamentlike kurwe van fyn en growwe toeslag soos beskryf in (a)(3) hierbo.
- (d) Wanneer die gemiddelde korrelgroottes van twee materiale wat met mekaar vermeng word grootliks verskil, word 'n beter totale verpakking verkry by optimum toestand as wanneer die gemiddelde korrelgroottes nie so veel verskil nie. As een deel van die fyn toeslag en veral as dit superfyn is, die toestand oorheers, kan die watervereiste vinnig groter word.
- (e) Sement inhoude moet aanpas by die watervereiste van die meng en die sterkte verlang. Figure J.21 - J.25 en J.27 toon dat sodra sement meer as 12 - 13% van die

totale massa (sement en toeslag) massa-gewys uitmaak, sal die verpakingsvermoë van die beton begin afneem en sal die watervereiste styg soos die sement inhoud styg. Voordat hierdie grens van 12 - 13% bereik word, sal die verpakking van die beton effens verbeter soos die sement inhoud toeneem en sal die verbetering in verpakking nie die watervereiste nadelig beïnvloed nie, maar kan dit selfs laer maak. Kleiner wisselinge in lae sement inhoude sal dus nie die watervereiste affekteer nie.

- (f) Dit is voordelig om met enige so droog moontlik te werk mits effektiewe trilbewerking beskikbaar is, die beton goed reageer op trilbewerking en goeie verdigting verkry kan word. Die oënskynlike droë voorkoms van beton wat met seesand gemaak is, waarskynlik effens droër in voorkoms as gewone beton, moet die bewerker nie mislei nie. Oor die algemeen is segregasie minder waarskynlik by goed ontwerpte mengte, maar sigbare bloeiing mag meer wees.
- (g) Seesand beton moet in beweging gehou word, anders verloor dit sy werkbaarheid vinniger as gewone beton.

## 5.6 Voorgestelde mengontwerp metode:

Die volgende prosedure kan nou gevolg word om 'n betonmengte ontwerp wanneer seesand gebruik word.

- (a) Bepaal die gradering van die sand en besluit of 'n fyner of growwer sand bygevoeg moet word. Indien nog 'n sandsoort bygevoeg moet word, bepaal in watter verhoudings dit moet geskied sodat die gesamentlike kurwe tesame met 15% sement balanseer om die basiese kurwe. Die basiese kurwe begin by 100/0,075 sif as daar 'n beduidende hoeveelheid sand deur die 0,150 sif



gaan of by 95/0,150 sif as daar nie te veel sand deur die 0,150 sif gaan nie soos hierbo verduidelik. Die basiese kurwe verloop reglynig na die grootste effektiewe korrelgrootte.

Indien geen ander sand beskikbaar is nie, balanseer 'n meng van dié sand met 4,8 of 6 mm growwe aggregraat soos tevore beskryf en getoon in fig. K.10. Die basiese kurwe verloop nou vanaf 100/0,075 of 95/0,150 soos die geval mag wees na 50% op 2 sifgroottes kleiner as die maksimum effektiewe korrelgrootte en dan na 0% op die maksimum korrelgrootte sif.

- (b) Die growwe toeslag kan min of meer volgens 'n reguitlyn gebalanseer word indien meer aggregraat groottes beskikbaar is en dit ekonomies regverdigbaar is. So nie gebruik enkelgrootte growwe toeslag. Konsentreer op soveel van die grootste grootte growwe aggregraat in die meng as moontlik al lyk die graderingskurwe van die growwe toeslag nie so mooi nie.
- (c) Verbind nou verskillende persentasies fyn en growwe toeslag sodat die gradering van die totale meng balanseer om 'n basiese kurwe soos beskryf in 5.5 (a)(3). Of in kort vanaf 100/0,075 of 95/0,150 soos die geval mag wees na 50% op 2 sifgroottes kleiner as die maksimum effektiewe korrelgrootte tot 0% op die sif wat die effektiewe korrelgrootte voorstel.
- (d) Begin met 'n watervereiste volgens ervaring en tekstuur en korrelvorm van die aggregraat van sê  $200 \text{ l/m}^3$  beton as die sand baie fyn is of enigiets tussen 190 - 200 l/m as die sand growwer is. As 'n groot hoeveelheid superfyn sand voorkom kan die watervereiste op 210 - 220 geskat word.

- (e) Bepaal die benodigde sement inhoud om die sterkte te verskaf volgens die kurwes vir sement/water of water/semēt verhoudings teenoor drukvastheid.
- (f) Bepaal die totale hoeveelheid toeslag benodig om  $1 \text{ m}^3$  beton te vervaardig met behulp van die betrokke gekose watervereiste en die benodigde hoeveelheid sement. Maak gebruik van die feit at die som van die absolute volumes van die bestanddele van die beton gelyk is aan die volume beton wat uit daardie materiaal vervaardig kan word. Die gemiddelde relatiewe digtheid (RD) van die totale toeslag (fyn en grof) kan bepaal word sodra die mengverhoudings van fyn tot growwe toeslag bekend is. Sodra die RD bekend is, kan die totale massa van die toeslag bepaal word van die absolute volume toeslag wat nodig is om saam met sement en water,  $1 \text{ m}^3$  beton te gee.
- (g) Maak 'n proefneming en bepaal die ware watervereiste. Indien 'n lae sement inhoud verkry is, sal die watervereiste nie veel verander as die sement inhoud verander nie. As die sement inhoud egter groot is, groter as sê 13%, moet ekstra water toegelaat word as die sement inhoud toeneem wanneer 'n te lae watervereiste oorspronklik geskat is of ekstra water moet weggeneem word as die watervereiste oorspronklik te hoog geskat is.
- (h) Korrigeer die hoeveelhede en maak weer 'n verbeterde proefmeng om die aanpassings te kontroleer. Die kundige mengontwerper mag wegkom met 'n tweede proefmeng, maar 'n derde verbeterde proefmeng mag soms nodig wees.

Sien bladsye K.7 tot K.10 van Bylae K vir 'n monster berekening.

## - HOOFSTUK 6 -

### BLOEI VAN BETON

#### 6.0 Bloei - algemeen:

Water is die enigste smeermiddel in 'n betonmeng wat die korrels tot so 'n mate kan smeer dat 'n werkbare meng verkry word. Water, selfs al word dit verbeter met behulp van 'n elektroliet of plastiseerder, bly steeds 'n swak smeermiddel sodat 'n relatiewe dik lagie water om elke korrel benodig word om effektief te smeer. 'n Oormaat water word dus benodig. 'n Dik lagie om elke korrel kan ook net vorm en bestaan solank die meng in beweging bly.

Sodra die meng tot rus kom na verdigting kan die waterlagies nie langer die korrels tot dieselfde mate skei as gedurende vermenging nie en sal elke korrel fyn of grof, afsak totdat dit te ruste kom op korrels onder hul sodat stabiliteit verkry word deur direkte korrelstuiting, ophoping of stapeling. Dit beteken verder dat die korrels eintlik in die water besink en water verplaas sodat dit nie ongewoon is om water te sien versamel op die oppervlak van die beton 'n rukkie na verdigting nie. Hierdie hele proses van besinking of verlies van water, hetsy na die bovlak of sydelings as gevolg van lekkasies in die bekisting, word die bloeiproses genoem.

Aangesien die korrels hoofsaaklik as gevolg van gravitasiekragte afwaarts beweeg en daar weinig of geen horisontale kragte ter sprake kom nie, moet eerder 'n opstapeling van korrels verwag word. Wanneer die korrels direk teen mekaar begin druk, verdwyn die smeeraksie van die water sodat groot wrywingskragte verhoed dat die korrels gemaklik horisontaal



kan beweeg. Die totale gevolg is dus dat 'n patroon van gestapelde korrels met moontlike dun watersuile of -gordyne tussenin gevorm word. Indien so 'n meng wat tot rus gekom en klaar besink het, verstoort word deur vibrasies of kanteling en 'n horisontale beweging aan die korrels gebied word, word 'n nuwe bloei- of besinkingsfase ondervind, maar wel tot 'n geringer mate as voorheen. Aldus kan herhaalde bloei- of besinkingsfases ondervind word, maar elke keer met 'n kleiner besinkingsvermoë. Hierdie verskynsel bewys dus duidelik dat stapeling wel plaasvind. Die suksesvolle verbetering van beton na herverdigting is 'n verdere bewys hiervan.

'n Oormaat water neig ook om die water in 'n meng te laat groepeer sodat wanneer, veral die groter korrels, besink en as die betondeel dik is, daar 'n relatiewe vloei patroon van die water kan ontstaan. Bewegende water neig ook om van die fyner korrels en veral sement saam te sleep sodat klein kraters byna soos miniatuur vulkane, op die oppervlak van die beton gevorm word.

'n Ander algemene verskynsel is dat water onder bewapeningstawe of obstruksies of selfs onder groter korrels, versamel. Indien die bekisting by sy sye of by sy onderkant lek, kan water ook daaruit ontsnap. 'n Sterk beweging van water word nou ondervind sodat heelwat sement saamgesleep kan word totdat die sement en fyn materiaal 'n filter vorm en slegs skoon water deurlaat. 'n Duidelik gewaste buitevlak en 'n donker kol of slegs 'n donker kol word dan op die buitevlak van die beton vertoon.

Enige bloeiwater wat in die beton agterbly hetsy onder obstruksies, staal of growwe aggregraat of in die vorm van suile of gordyne, sal maklik verdampbaar wees en as die water verdamp het, ongewenste holtes of kanaaltjies in die beton nalaat. Water wat dus uitbloei na bo of na buite en

wat nie in die proses sement saamsleep nie, kan dus nie skade aanrig aan die beton nie. In dié opsig word saamgestem met verskeie navorsers dat water wat uitbloei en die beton verlaat eintlik die beton verbeter. Indien van hierdie oormaat water op 'n sagte wyse ontslae geraak of verwyder kan word, kan dit net die beton bevoordeel soos duidelik getoon word met die vakuumbehandeling van beton. Verwydering moet egter gepaard gaan met herverdigting om effektief te wees soos deur skrywer getoon in "Die Rol van water in beton".

Baie mense beskou die verskyning van water op die oppervlak van die beton as onaanvaarbaar en probeer dan ook om die water in die meng vas te hou deur fyner materiaal met groot spesifieke oppervlaktas by te voeg. So eenvoudig is sake egter nie soos in die volgende paragrafe gesien sal word omdat daar veel meer by betrokke is as net die byvoeging van fyn materiaal om water vas te hou. Die ekstra oppervlakte bygevoeg sal ook nie noodwendig proporsioneel soveel meer water vashou nie omdat die verpakkingsvermoë van die nuwe meng ook 'n rol speel.

Hoewel normale bloei van beton nie daardie beton as sulks beskadig nie, is dit tog 'n teken wat nie net oor die hoof gesien kan word nie. Beton wat oormatig na bo bloei, toon duidelik dat daar iets skort met òf die meng òf die verdigtingsmetode òf albei. Menge wat vir handbewerking ontwerp is, kan segregeer en water afskei as dit intensief getril word. Netso kan menge met 'n normaal swak verpakkingsvermoë ook oormatig bloei omdat te veel water nodig is om die meng behoorlik werkbaar te kry. Meestal is dit nodig om weer die mengontwerp na te gaan en dit te verbeter. In baie gevalle kan net minder water gebruik word indien die plasings- en verdigtingsvermoë nog op 'n aanvaarbare vlak bly.



## 6.1 Bloei probleme:

Versamelde bloeiwater wat verdamp gaan noodwendig holtes of kanaaltjies agterlaat in die beton. Hierdie water neig ook om groter lugborrels vas te hou sodat blaasgate op die oppervlak van die beton en veral onder obstruksies soos horisontale of effe skuins inkomende bekisting, gevorm word. Hierdie toestand verhoog dus nie alleen die porositeit en water deurlaatbaarheid van die beton nie, maar kan ook ontsierde oppervlakke veroorsaak. Aangesien porositeit in direkte verband staan met sterkte, moet 'n relatiewe sterkte afname ook verwag word.

Die suile of gordyne skep nie alleen kanale wat ondigheid bevorder nie, maar dit skep ook potensieële swak sones of vlakke in die beton wat beslis sy sterkte en veral sy treksterkte nadelig sal beïnvloed. Interne water wat nie uitbloei nie, is dus 'n potensieël groter gevaar.

Op hierdie stadium is dit nou nodig om te onderskei tussen eksterne en interne bloeiing. Interne bloeiing sal beskou word as bestaande uit daardie water wat nie aan die korrels in die hele meng vaskleef nie en wat vryelik kan uitbeweeg as die geleentheid hom voordoën. Eksterne bloeiing sal dus bestaan uit dié water dat sigbaar uitbloei en die beton verlaat.

Interne bloeiing is dus ook onwenslik. Ongelukkig kan interne bloeiing nie maklik bepaal word nie, sodat 'n mens eerder moet soek na eksterne tekens. Eksterne bloeiwater moet dus beskou word as 'n teken dat interne bloeiing ook vryelik sal voorkom. Ongelukkig kan interne bloeiing ook voorkom sonder ooglopende eksterne tekens.

Daar is egter een ligpuntjie. Indien 'n meng genoeg sement bevat en die bloeikanale is nie te groot nie, kan die sement



die kanale toegroei of drasties verklein. Die kanse is ook beter dat beton wat net intern bloei makliker waterdig gemaak kan word as beton wat ook ekstern bloei. Daarom is dit belangrik dat met nat nabehandeling van beton vir waterhoudende strukture volgehou sal word vir ten minste 7 - 10 dae of solank as wat dit moontlik is.

#### 6.1.1 Afwerkingsprobleme:

Bloeiing kan ook ernstige afwerkingsprobleme veroorsaak en veral as afwerking te vroeg geskied. Dit is veral by vloerplate die geval waar in vele opsigte gesondig word en goeie beton wat 'n potensiële goeie vloer kan vorm so beskadig kan word deur verkeerde afwerkingstegnieke dat 'n onaanvaarbare produk gelewer word. Die belangrikste reël wat hier gevolg moet word is om met afwerking te wag totdat die beton klaar gebloei het en totdat die oppervlak water verdamp of verdwyn het. Wanneer die oppervlak water verdwyn het, sal daar nog genoeg interne bloeiwater oorbly om nie alleen herverdichting deur die afwerking te bevorder nie, maar ook om genoeg smering te verskaf sodat 'n harde dun bolagie gevorm kan word. Indien bloeiwater weer op die bovlak verskyn, moet afwerking gestaak en vertraag word totdat al die bloeiwater weer verdwyn het. By sommige vloere sal dit dus nodig wees om 2 tot 3 maal die afwerking te herhaal.

Die water wat verdwyn is moontlik grootliks as gevolg van verdamping, maar 'n deel kan ook weer opgeneem word in die beton soos die hidrasieproses vorder. Aangesien die bloeiproses gestop word sodra die korrels teenmekaar stuit, moet aanvaar word dat sementkorrels hierby ingeslote is. Sodra sement egter met water in aanraking kom, begin die hidrasieproses en begin 'n gel om elke sementkorrel te vorm sodat die sementkorrels vergroot. Dit is dus logies om te verwag dat sodra die sement ook

begin stol as gevolg van hidrasie, dit ook 'n drastiese remmende invloed het op verdere besinking van die onaktiewe korrels. As die sementhidrasie dus beperk word deur 'n vertrager, sal die bloeityd dan ook verleng word en 'n groter bloeivermoë kan verwag word met 'n gepaardgaande stadiger heropname van water in die beton. Hierdie verskynsel kom algemeen voor wanneer die besinking van sement pastas en mortels bepaal word. Wanneer die beton vir gedeeltes van 'n betonvloer vertraag word sodat die vloer in sy geheel afgewerk kan word, moet daar deeglik rekening gehou word met hierdie ekstra bloeivermoë van die beton.

#### 6.1.2 Plastiese krake:

'n Verdere probleem wat direk gekoppel moet word aan bloeiing, is die vorming van plastiese krake in die beton. Aangesien hier 'n besinkingsproses ter sprake is, is dit logies dat die korrels bo in die beton in totaal relatief meer sal besink as korrels onder in die beton. Die bo-vlak van die beton se sakvermoë word dus beïnvloed deur die diepte van die betondeel. Enige vaste obstruksies soos staal sal dus veroorsaak dat die beton om die staal moet "vloei". Die besinkingsproses is relatief stadig van aard en dus kan dit gebeur dat die blootgestelde bo-vlak en veral as dit warm is, begin set en minder vloeibaar raak sodat die kors eerder gebreek word as dat dit om die staal sal vloei. Dit is veral die geval as die staal naby die bo-vlak van die beton is. Die Cement and Concrete Association London<sup>(26)</sup>, het gevind dat as die staal ongeveer 50 mm of nader aan die bo-vlak van die beton is, krake vry algemeen voorkom in diep betondele, maar as die staal dieper as 50 mm lê, is die kans baie minder dat plastiese krake op hierdie wyse gevorm sal word. Hierdie tipe krake kan maklik vermy word deur die beton te plaas tot net onder die staal wat neig om plastiese krake te



vorm, die beton goed te verdig en toe te laat om te besink. Sodra besinking staak, kan die res van die beton geplaas word. Afhangende van omstandighede en of die beton vertraag is of nie, sal 'n wagtyd van 30 - 60 minute gewoonlik voldoende wees om die probleem te oorkom.

Plastiese krake word nie net by diep betondele gevind nie, maar kan ook by betonvloere voorkom. As die verdampings snelheid hetsy deur droë lug, winde of sonverhitting, groter is as die bloeivermoë van die beton, kan dit ook gebeur dat die bo-lagie van die beton vinnig uitdroog, verhard en 'n kors vorm. Verdere besinking van die beton sal nou die kors aftrek oor die vaste staal en aldus die kors regoor die staalstawe breek. Die kraakpatroon weerspieël dan die patroon wat die staal in die bo-vlak van die beton vorm. Die situasie kan egter nog gered word deur onmiddellik nadat die krake sigbaar word, herverdigting of herbewerking toe te pas. Dit bly egter verkieslik om te snelle uitdroging te verhoed deur vroegtydig genoegsame vog in die vorm van 'n vogsproei beskikbaar te stel of deur nabehandeling effektief te vervroeg. Volgens die Switsers<sup>(27)(28)</sup> is dit baie belangrik dat die beton spesiale nabehandelings- en besinkingsaandag kry gedurende die kritiese tydperk van 2 - 4 ure na plasing. Volgens hulle bevindings is die tydperk tot 2 ure en na 4 ure nie so krities nie.

In uiterste gevalle kan verdere bloeiwater onder die kors versamel, omdat die kors tot 'n mate waterdig raak. Die beton onder die kors word dan verswak weens die hoë water/sement verhouding. Hierdie toestand word dikwels gevind wanneer betonvloere te vroeg afgewerk word. Die sterk sementryke bo-lagie verberg dan die swakker beton daaronder en wanneer die lagie later gebreek word deur skuring of slytasie, word die swakker onderlagie blootgestel en die betonvlak verpoeier dan redelik maklik.



In sy geheel gesien, verswak plastiese krake nie noodwendig die betondeel nie. Dit bly egter ontsierend en skep onmiddellik 'n duursaamheidsprobleem omdat water en lug nou gouer die staal kan bereik en die staal laat roes.

Besinkingsprobleme word ook heel dikwels in betonpilare en -mure ondervind. Die staal bewapening en veral die horisontale staal, skep gewoonlik stapelingsbasisse en as die muur of pilaar dun is, kan brugging baie maklik voorkom. Dit is dan ook nie ongewoon om horisontale plastiese krake in die boonste gedeelte van sulke mure of pilare te vind nie omdat die beton wegsak onder die boonste dele wat deur brugging ondersteun word. Effektiewe herverdigting 'n rukkie nadat die muur of pilaar geplaas is, kan die probleem oorkom, maar daar moet gewaak word teen versamelde bloeiwater onder horisontale of skuinsdele wat as dit nou in beweging kom, sandstroke op die oppervlak kan vorm.

#### 6.1.3 Ander bloei probleme:

Interne bloeiing kan dus 'n groter gevaar wees as eksterne bloeiing. Met eksterne bloeiing sien 'n mens immers wat gebeur. Daarom is dit belangrik om die totale bloeivermoë van 'n beton te kan bepaal soos in die volgende paragrawe gedoen sal word.

Sement self bloei maklik en volgens Murdock<sup>(30)(31)</sup> sal 30 - 33% water per massa sement nodig wees om die sement alleen effektief te smeer. Aangesien sement slegs ongeveer 10% water per sement massa kan vashou deur vasklewing of adsorpsie kan ongeveer 20% potensieël uitbloei. (Sien Rol van water in Beton<sup>(12)</sup>, fig. 16.5.) Indien bloeiwater nou sement saamsleep na 'n lekplek in die bekisting, kan verwag word dat die fyn materiaal en die sement die lekplek kan verstop as dit nie te groot is

nie en 'n filter vorm. Dit beteken dat in die omgewing van lekplekke word sement gekonsentreer en met die gepaardgaande waterverlies word die w/s verhouding drasties verlaag. Beton met lae w/s verhoudings is donkerder as beton met hoër w/s verhoudings sodat 'n donker kol of vlek in die omgewing van die lekplek in die bekisting op die betonvlak veroorsaak word. Dit is dus belangrik dat lekplekke in bekisting tot 'n minimum beperk word waar onafgewerkte beton verskaf moet word en dat die beton self 'n lae bloeivermoë moet besit. Die gebruik van beton met lae waterinhoud is in sulke gevalle 'n baie goeie begin.

Die krimpvermoë van beton is direk eweredig aan die hoeveelheid water wat in die beton agterbly net na verdigting. Saam met die ander nadele verbonde aan interne bloeiing kan dit ook krimpings verhoog. Netso sal vasgehoue water wat nie interne bloeiwater word nie ook krimpings verhoog. Om dus water te probeer vashou net om sigbare bloeiing te bekamp, kan dan 'n lastiger probleem van groter krimpings skep.

## 6.2 Metodes om bloei van beton te meet:

Die verskillende metodes en ook ander aspekte om die bloei van pastas, mortel en beton te meet, is volledig deur skrywer beskryf in sy boek oor "Die Rol van water in Beton"<sup>(12)</sup>. In kort kom dit op die volgende neer:

- (a) Daar is nie 'n algemene en kommersieël beskikbare meter waarmee bloei gemeet kan word nie. Sekere meters en metodes van bloeimeting deur eksterne bloeiwater te versamel en volumes te bepaal, kan wel benut word om die eksterne bloeivermoë van dieselfde beton wat moontlik verskillend behandel is, te vergelyk. Die vormfaktor van houer teenoor aggregraat groottes word



nie inaggeneem nie en kan dus nie universeel gebruik word nie.

- (b) Bloeimeters kan geen aanduiding gee van hoeveel beton wat in bekisting geplaas word, ekstern kan bloei nie. Weereens is die vorm van die bekisting en obstruksies soos staal belangrike faktore wat nie evalueer kan word nie.
- (c) Daar is geen norm of maatstaf waarvolgens matige of oormatige bloei beskryf kan word nie. Gevolglik bly dit slegs 'n relatiewe begrip wat elkeen vertolk soos dit hom pas en volgens sy eie beskeie mening.
- (d) Van al die moontlike metodes om bloeiing te meet, moet voorkeur gegee word aan die meting van die besinking van die monster met behulp van 'n dobber met mas. Dit gee ten minste die potensiele besinkings- of bloeivermoë van die monster en kan met groter akkuraatheid die invloed van verskillende behandelings van die monster op sy bloeivermoë bepaal.
- (e) Wat wel belangrik is, is om die totale bloeivermoë van die monster te bepaal. As die eksterne bloei dan bepaal kan word, is dit dan ook moontlik om die potensiele interne bloei te bepaal. Om hierdie doelwit te bereik, is dit nodig om vas te stel hoeveel water die monster self kan vashou en hanteer. Die verskil in volumes tussen hierdie vasgehoue water en die mengwater moet dan die totale volume bloeiwater gee. Hierdie uitgangspunt open 'n heel nuwe begripsveld waarvolgens bloeiing met groter begrip van die werklikheid benader kan word. Dit verskaf ook 'n baie eenvoudige toets waarvolgens die werklike bloeivermoë van enige meng bepaal kan word.



### 6.3 Die kleefwater wat agterbly in 'n meng (geadsorbeerde water):

In die vorige paragrafe is die belangrikheid van kleefwater of geadsorbeerde water in 'n meng beklemtoon. Die metode om kleefwater te bepaal, kan soos volg beskryf word:

- (a) Bepaal eers die absorpsievermoë van elk van die materiale. Elk van die materiale is eers in gedistilleerde water geweek vir minstens 24 uur. Daarna is die los water afgedreineer en is die monster met behulp van 'n haardroër gedroog totdat al die korrels net oppervlak-droë is. Die oppervlak droë monster is dan geweeg, volkome gedroog by  $100 - 150^{\circ}\text{C}$  en dan weer geweeg. Die verskil in massa tussen oppervlak droë materiaal en volkome gedroogte materiaal is dan bepaal en uitgedruk as 'n persentasie van die massa van die absolute droë materiaal. Sien tabel 6.1.
- (b) Menge van ongeveer 2 kg is dan voorberei. Die aggremaat is afgeweeg en eers vir ongeveer 60 minute in gedistilleerde water geweek. Die orige vry water is dan afgedreineer en die sement is bygevoeg terwyl die meng deeglik met die hand gemeng is totdat 'n egalige homogene meng verkry is. Menging het ongeveer 2 minute geskied. Indien nodig, is nog gedistilleerde water bygevoeg sodat 'n slap en maklik verdigbare meng verkry is.
- (c) Sodra die meng gereed was, is dit in 'n 0,600 mm sif in 'n laag ongeveer 40 mm dik geplaas en so goed moontlik verdig om 'n digte verpakking te kry sonder dat mortel verlore gaan.
- (d) Die 0,600 mm sif is daarna op so 'n wyse skuins opgehang dat dit 'n hoek van ongeveer  $20 - 25^{\circ}$  met die horisontaal gemaak het. Op hierdie wyse kon alle vry

water dreineer word sonder dat die sement verlore gaan of saamgesleep word. Die water groepeer ook mooi by die onderste rand van die sif sodat die verlies aan water waargeneem kan word. Toetse tevore deur skrywer by die C. and C.A. London gedoen, het 'n duidelike verband getoon tussen die tempo van verlies aan water op hierdie wyse teenoor besinking van soortgelyke monsters wanneer besinking met behulp van 'n vlot en mas gemeet word.

- (e) Sodra die waterverlies gestaak het, is die orige water onder die sif afgedroog en is soveel moontlik van die monster uit die sif verwyder, geweeg en by 100 - 150°C gedroog. Die persentasie kleefwater of geabsorbeerde water per massa, droë materiaal kan dan bepaal word deur ook die geabsorbeerde water in die aggregraat in ag te neem. Die tydsverloop tussen byvoeging van sement en die begin van droging was ongeveer 40 - 45 minute. Die hidrasie van die sement het dus nie veel gevorder nie en al die kleefwater, ook aan die sement, kon verwyder word.

Die sement verpoeier maklik na so 'n droging wat 'n verdere bewys is dat hidrasie nie juis veel gevorder het nie en baie vroeg tot stilstand gekom het. 'n Deskundige op die gebied van vog en massaverlies teenoor die temperatuur van 'n sementpasta, J.A. Forrester,<sup>(32)</sup> het hierdie bevinding bevestig deur monsters van die sementpasta te ontleed terwyl skrywer hiervan navorsing by die C. and C.A. gedoen het. Op grond van hierdie ervaring is die hoeveelheid water wat tydens die toets "vasgeraak" het, verontagsaam. In werklikheid kan tussen 3% tot 4% water per massa sement vasraak. Aangesien dieselfde sement, min of meer dieselfde hoeveelheid sement, die tydsverloop en die temperatuur tussen byvoeging van sement by water tot droging min of meer dieselfde was, is die fout deur opname van water deur sement



gemaak ook min of meer konstant. In die meeste toetse is die sementinhoud/toeslag in die verhouding van 20%/80% gehandhaaf. Die totale invloed op die resultate is dus konstant en word as klein beskou. Dit sal in elke geval nie die algemene gevolgtrekkings wat gemaak kan word beïnvloed nie.

In 'n poging om te sien hoe die spesifieke oppervlakte sake kan beïnvloed, is die spesifieke oppervlakte van die verskillende materiale ook bepaal. Die klip se spesifieke oppervlakte (SO), is deur Myburgh<sup>(33)</sup> bepaal met behulp van olie as besinkingsmedium. Myburgh het ook die SO van die verskillende korrelgroottes van soortgelyke growwe sand met behulp van water as besinkingsmedium bepaal sodat die gemiddelde SO per eenheid massa van die sand bepaal kon word as sy gradering bekend is. Die SO van die duinsand is met behulp van 'n aangepaste Lea en Nurse apparaat bepaal soos reeds beskryf in Aangangsel E.

Die SO waardes van die duinsand is ook gekontroleer deur die vorm van die korrels te vergelyk met dié van die growwe sand en ook sy gradering in ag te neem. Die resultate word in tabel 6.1 weergegee.

	Klip			Sand		Sement
	19 mm	12 mm	4,8 mm	Grof	Duin	
Relatiewe digtheid	2,77	2,77	2,77	2,64	2,65	3,14
Persentasie water geabsorbeer	0,26	0,23	0,13	0,14	0,23	-
Spesifieke oppervlakte $\text{cm}^2/\text{g}$	4,7	5,7	13,3	62,8	288,3	3220

**Tabel 6.1:** Fisiese eienskappe van materiale en sement wat gebruik is.



Die dun verdigte lagie van die monster op die sif veroorsaak geen vormfaktor probleme nie, omdat dit so dun is (40 mm) in vergelyking met die deursnit van die sif (250 mm). Die klein dikte van die monster verseker ook dat volop geleentheid gebied word aan alle water wat wil padgee om uit te beweeg en dat interne bloeiing sover moontlik beperk word. Die water wat dus agterbly is net dié wat aan die korrels vaskleef en wat deur oppervlakte spanning tussen die korrels vasgehou word. Hoe beter die verpakking van die meng dus, hoe minder water behoort vasgehou te word. Hierdie feit word deeglik bewys deur die kurwes in die figure L.1, L.2 en L.3.

Aangesien Singh en andere so 'n ophef gemaak het oor spesifieke oppervlakte en die geloof dat meer spesifieke oppervlakte dienooreenkomstig meer water sal vashou nog vas geglo word, is gekyk na die verband tussen kleefwater en spesifieke oppervlakte (SO). Die gevolgtrekking waartoe gekom is, is dat so 'n werkbare verband òf nie bestaan nie, òf so vaag is dat dit enige een se raaiskoot is om die verband raak te sien (fig. L.10 en L.11). Die rede is ooglopend. As dit wel die geval is, moet die diktes van die kleefwaterlagies om korrels vir alle hoeveelhede dieselfde wees en word daar geen voorsiening gemaak vir meniskus water en water wat deur oppervlak-spanning in die tussenruimte tussen korrels vasgehou word nie. Dit beteken ook dat alle korrels geskei moet wees deur twee kleefwater dikte lagies en dat korrels nie kontak met mekaar maak nie; 'n toestand wat net nie voorsien kan word nie.

Gevolglik is gesoek na 'n ander basis waarvolgens sake beoordeel kon word. Dit is gevind dat die massa kleefwater per absolute volume van die vaste materiaal in die meng wel 'n gesonde werkbare basis bied om kleefwater te beoordeel. Aangesien hierdie begrip nou meermale sal voorkom, sal dit kortom beskryf word as die kleefwatervermoë van die meng

waarmee dan bedoel sal word dié hoeveelheid kleefwater vasgehou per absolute volume van die vaste materiaal, insluitende die sement. Hierdie faktor betrek dus ook die verpakking van die monster, want hoe beter die monster verpak, hoe groter sal die absolute volume wees per eenheid globale volume van die materiaal en hoe kleiner sal die tussenruimte wees. Aangesien verpakking ook porositeit en kleinheid van tussenruimtes insluit, kan 'n mens ook verwag dat die kleefwater daardeur beïnvloed sal word en word so 'n basis verder geregverdig. Die globale volume van die meng word egter nie direk in berekening gebring nie, sodat die ware verpakkingsvermoë en porositeit nie direk uit die massa water/absolute volume van die vaste materiaal afgelei kan word nie, hoewel beste verpakking wel in sekere gevalle bepaal kan word.

In die kurwes fig. L.1 en L.2 is growwe sand (L.1) en duinsand (L.2) met verskillende persentasies sement gemeng. Die sement/sand verhoudings by minimum kleefwatervermoë (water/absolute volume vaste materiaal) stem verbasend goed ooreen met dié van die kurwes J.3 en J.2 waarvolgens die beste verpakking bepaal is. Hieruit kan dus afgelei word dat goeie verpakking ook voorkom by 'n minimum kleefwatervermoë vir daardie betrokke materiale. Al die ander kurwes, fig. L.3 tot L.9 bevestig hierdie afleiding as die 20% sement by die fyn toeslag gereken word.

Van die kurwes in fig. J.3, J.4, J.21 en J.22 is dit duidelik dat wanneer sement by die toeslag gemeng word, beste verpakking verkry word wanneer tussen 10% en 20% sement per massa sement is. As 10% sement gebruik word, beteken dit dat ongeveer 220 - 230 kg sement per  $m^3$  beton gebruik word terwyl 20% dan ongeveer 440 - 460 kg sement/ $m^3$  beton beteken. Sement inhoude van 440 - 460 kg/ $m^3$  beton, sal ook watervereistes beïnvloed en groter hoeveelhede sal ook verpakking nadelig begin affekteer.



Aangesien 'n deel van die oefening ook was om te sien hoe die kleefwatervermoë wissel met wisseling in fyn tot growwe toeslag, is besluit om die sement/toeslag verhouding konstant te hou op die verhouding 20/80 per massa. 'n Verdere oorweging was ook om 'n ogie te hou oor spesifieke oppervlakte (SO). Sement self lewer die grootste bydrae tot SO in 'n meng en as die sement inhoud sou wissel sou die SO ook betekenisvol varieer. Deur die sement inhoud konstant te hou, sal die invloed van duinsand op die SO en op die kleefwatervermoë dus veel beter waargeneem kan word. Netso sal die invloed van wisseling van fyn tot growwe toeslag in 'n meng beter waargeneem kan word as die parameter, sement inhoud, konstant gehou word.

Die huidige neiging in die V.S.A. om hoë sterkte beton te maak met lae sement inhoude van 350 - 400 kg sement/m<sup>3</sup> beton beklemtoon die vername rol wat goeie verpakking en lae kleefwatervermoë speel. Dit bevestig ook die bevinding dat beste verpakking verkry word met sement/toeslag verhoudings van tussen 10/90 tot 20/80. Onnodige hoë sementinhoud moet dus lei tot die onekonomiese gebruik van sement.

Die kurwes in fig. L.3 - L.9 is derhalwe opgestel om te sien hoe verbetering in verpakking ook die kleefwatervermoë verlaag. Die kurwes in fig. L.4, L.5 en L.6 gee nie 'n duidelike draaipunt waar die kleefwatervermoë 'n minimum bereik nie, maar as die kurwes in fig. L.1, L.2 en L.3 inaggeneem word, kan verwag word dat die draaipunt wel baie naby aan die 25% duinsand sal wees en dat die kurwes na die laaste waarnemings weer sal styg. Die kleefwatervermoëns wat bereik is, is egter so laag dat daar seker nie veel op verbeter kan word nie.

Die belangrikste afleiding wat hier gemaak kan word, is dat duinsand met die hulp van 4,8 mm klip, wel Menge kan gee met lae kleefwatervermoëns. Ongelukkig moet die gebruik van



duinsand ook gekoppel word aan hoër watervereistes van oor die 200 kg/m<sup>3</sup> beton (sien tabel 4.5). Hierdie hoër watervereistes het basies 2 probleme, naamlik:

- (a) Hoër watervereiste om 'n sigbare goeie werkbaarheid te verseker; en
- (b) 'n Groot bloeivermoë wanneer gesoek word na sigbare goeie werkbaarheid.

Die eerste probleem met sigbare goeie werkbaarheid is een wat ernstiger lyk as wat dit werklik is. Die droë voorkoms van die meng sowel as sy lae uitsakking of skynbare lae werkbaarheid, moet 'n mens nie afskrik nie. Mits die verhoudings reg is vir goeie verpakking, reageer sulke menige uitstekend op trilbewerking en kan goeie verdigting verkry word. Daar moet egter toegegee word dat handbewerking waarskynlik heelwat meer energie sal benodig vir goeie verdigting as wat gewoonlik die geval is. Hierdie betonsoort moet dus eerder getakseer word op sy verdigbaarheidsvermoë as op sy werkbaarheid.

Indien menige met 'n ietwat droë voorkoms gebruik word, het dit darem dié voordeel dat hulle minder geneig is tot segregasie tydens plasing. Hul grootste nadeel is egter dat hulle nie staties oor afstande vervoer kan word nie en dat hulle gedurig geroer, omgekeer en gemeng moet word. Tydens statiese vervoer sal hulle maklik self verdig en water laat uitbloei wat slegs deur intensiewe hermenging teruggeplaas kan word in die beton. Die moontlike verlies aan water is dus ook baie groter.

Dit is nou ook duidelik dat menige wat groot persentasies duinsand bevat nie baie geskik is vir pomp doeleindes nie. Hulle verloor gans te maklik hul water as hulle onder druk kom.

Die moontlik groter bloeivermoë probleem vereis ook meer begrip. Omdat die verskil in kleefwatervermoë en watervereiste nou groter kan wees as by beton met ideaal gegradeerde sand omdat meer en fyner korrels nou gesmeer moet word, dit wil sê omring word met water, moet verwag word dat meer bloeiing sal voorkom. Die gevaar van vasgevangene interne bloeiing weens die kleiner kanaaltjies is nou groter terwyl eksterne bloeiing ook kan toeneem. Eksterne bloeiing is vir die meeste mense onaanvaarbaar hoewel soos reeds getoon, dit op sigself nie noodwendig skadelik is nie, maar eerder moet gesien word as 'n aanduiding dat iets met die meng skort. As 'n mens dus hierdie standpunt aanvaar, is daar geen rede tot paniek nie, solank 'n mens net weet wat aan die gang is. As 'n mens dan weet dat goeie verpakking en lae kleefwatervermoë wel bereik kan word, vereis dit net 'n bietjie geduld en begrip om hierdie "nuwe" soort beton te aanvaar en reg te hanteer.

Die groter duinsand-inhoud laat hier die spesifieke oppervlakte van die meng beduidend toeneem aangesien die sement inhoud konstant bly. Volgens teorie dus moet meer water vasgehou word wat dan ook inderdaat die geval is (fig. L.4, L.5 en L.6). Ongelukkig styg die watervereiste ook omdat meer oppervlakte nou gesmeer moet word. Selfs al word gevind dat skynbaar minder eksterne bloeiing voorkom en dat meer water vasgehou word, moet die vermoë om nou meer te krimp nie uit die oog verloor word nie en moet 'n verwagte toename in krimpning dan aanvaar word. Hierdie probleem is ongelukkig ook nie die enigste wat verwag kan word nie. Soos voorheen baie duidelik getoon, sal 'n toename in fyn materiaal, en veral dié van 'n fynheid soortgelyk aan dié van sement, verpakking kan benadeel en die moontlike verlies aan sterkte verhoog. Die ideaal moet dus eerder wees dat klem gelê word op goeie verpakking en lae kleefwatervermoë. Die uiterlike tekens sal, as 'n mens weet wat aan die gang is, dan meer aanvaarbaar wees.



Die kurwes in fig. L.7, L.8 en L.9 toon wel draaipunte wanneer slegs growwe sand teenoor 4,8 mm en 12 mm klip en 'n optimum sandmeng teenoor 'n optimum 4,8; 12 en 19 mm klip met 20/80 sement/toeslag Menge gedoen word. Die draaipunte kom voor by ongeveer 35% sand wat as die sement bygereken word, baie goed saamstem met die verhoudings vir beste verpakking. Hierdie Menge sal volgens ervaring trilbewerking benodig vir goeie verdigting. Menge vir handbewerking bevat gewoonlik meer as 40% sand, wanneer goeie normale beton-sand gebruik word.

Die lae kleefwatervermoë van hierdie Menge werp nou meer lig op die feit dat Menge wat sigbaar droog en hard lyk, tog met trilbewerking verdig kan word. Die rede moet gesoek word in die feit dat voldoende interne water ten spyte van die droë voorkoms, teenwoordig is om effektief te smeer indien goeie verpakking ook verkry kan word. Dit beteken verder dat die water inhoud in 'n meng minstens gelyk aan of net meer as die kleefwatervermoë moet wees om effektief te smeer. Goeie verpakking sal ook smering bevoordeel sodat kleiner hoeveelhede oormaat water benodig word. Dit kan voorsien word dat goeie verdigting ook verkry kan word met 'n watervereiste net 'n rapsie kleiner as die kleefwatervermoë, maar dan sal strawwe en intensiewe trilbewerking noodsaaklik wees.

Die vraag is nou hoeveel water nodig is om net te voorsien in kleefwater. Tabel 6.2 kan nou opestel word vir kleefwatervermoë teenoor watervereiste.

In hierdie tabel is die kleefwatervermoë bepaal wanneer die totale massa kleefwater in die meng gelyk is aan die watervereiste van die meng. Daar is ook aanvaar dat die absolute volume van die vaste materiaal saam met die watervereiste  $1 \text{ m}^3$  beton sal gee. Wanneer voorsiening gemaak word vir 2% natuurlike ingeslote lug, word die



kleefwatervermoëns effens groter soos verwag kan word.

		Watervereiste 1/m <sup>3</sup> beton					
		170	180	190	200	210	220
Kleefwatervermoë	sonder						
(massa water/	lug ...	0,20	0,22	0,23	0,25	0,27	0,28
absolute volume	met 2%						
vaste materiaal)	lug ...	0,21	0,23	0,24	0,26	0,27	0,29

Tabel 6.2: Die kleefwatervermoëns wanneer die totale kleefwater gelyk is aan die watervereiste van die meng.

Kleefwatervermoëns van 0,20 - 0,25 is sekerlik binne bereik van die meeste betonsoorte omdat dit saamval met kleinste ruimte verhoudings van 0,20 - 0,25 en goeie verpakkingsvermoëns wat ook moontlik is. Ongelukkig skyn daar geen verband te wees tussen minimum verpakkingsvermoë en minimum kleefwatervermoë nie as die punte op fig. L.10 gestip, ontleed word.

As 'n mens nou weer na tabel 6.2 kyk, dan is bloeiing net moontlik as die kleefwatervermoë kleiner is as dië in die tabel vir elke geval of kleiner is as die watervereiste vir die betrokke meng. Byvoeging van baie fyn materiaal wat beter verpakking verskaf en 'n kleiner kleefwatervermoë veroorsaak kan dus in werklikheid bloeiing vergroot. Dit is daarom nie snaaks dat vliegass byvoeging by beton soms nie bloeiing verminder nie, maar eerder neig om dit te verhoog soos M. Soen<sup>(34)</sup> van Mebin beton te Boverwyk, Holland, ook gevind het. Dit is veral die geval as ekstra water nodig is om sigbare werkbaarheid te verbeter. Hierdie toestand kan baie goed vergelyk word met die byvoeging van duinsand,

hoewel duinsand geen bindingsvermoë het nie, terwyl vliegaskog met  $\text{Ca(OH)}_2$  kan verbind om 'n bindmiddel te vorm.

Om water vas te hou beteken dus nie net om meer oppervlakte waaraan water kan vaskleef, te verskaf nie. Verpakking, hoewel daar skynbaar geen direkte verband tussen verpakking en kleefwatervermoë is nie, bly tog belangrik omdat goeie verpakking gewoonlik gepaard gaan met lae kleefwatervermoëns. In sulke gevalle waar verpakking nie verbeter word deur byvoeging van fyn materiaal nie, kan selfs swakker verpakking en meer interne bloeiing verwag word. Skraal mengte met lae sement inhoude sal dus baat met die byvoeging van fyn materiaal mits die watervereiste ook verlaag kan word of ten minste nie verhoog word nie, wat in die meeste gevalle moontlik is. In die geval van sementryke mengte, kan nog bygevoegde fyn materiaal egter verpakking benadeel. Hoewel meer water nou weens swak verpakking vasgehou kan word, beteken dit eintlik dat die mengte in werklikheid nie verbeter is nie, maar eerder benadeel is, omdat sy krimpv vermoë soveel groter is.

Tabel 6.2 is ook in 'n ander opsig 'n openbaring. Dit wil nou tog blyk dat beton wel vervaardig kan word sonder dat bloeiing voorkom en dat al die water natuurlikerwys om die korrels kan vaskleef. Ervaring bevestig hierdie verskynsel omdat as min water gebruik word terwyl goeie verdigbaarheid nog bereikbaar is, kom waarneembare bloeiing selde voor. Dit beteken in werklikheid ook dat die bietjie water wat in die mengte is, effektief benut moet word vir smering, wat verder daarop dui dat slegs trilbewerking effektief kan wees of dat die smeer eienskappe van die water verbeter moet word met behulp van bymengsels soos plastiseerders, waterspaarmiddels, effektiewe elektroliete, ensovoorts. Met bostaande in gedagte, is dit nou duidelik waarom mengte wat met die hand verdig word en wat 'n werkbaarheid van meer as 50 mm uitsakking (slump) het, oor die algemeen geneig is om te



bloei as die water nie verminder word met behulp van bymengsels soos plastiseerders en waterspaarmiddels nie.

Gedurende die toetse is verdigting hoofsaaklik verkry deur 'n oormaat water te gebruik tesame met matige skud en handverdigting. In werklikheid word sterk geleun op die vermoë van die beton om self te verdig wat sekerlik aangemoedig word deur die afwaartse beweging van die water sonder dat die aggregraat segregeer. Skrywer kan nie dink aan 'n ander wyse om beton intensief te verdig en die water te verwyder sonder dat segregasie sal voorkom nie. Hiermee wil dan ook nie voorgehou word dat die syfers verkry, die absolute minimum kleefwatervermoëns is nie, maar wat wel gesê kan word, is dat hierdie waardes 'n baie goeie weergawe behoort te wees vir normale beton. Skrywer kon selfs voorsien dat met intensiewe trilbewerking en veral by menge wat goed verpak, volkome verdigting moontlik kan wees met watervereistes van net kleiner as dié wat net die kleefwatervermoë sal bevredig soos in tabel 6.2.

Die metode wat nou voorgestel word om bloeiing of bloeivermoë te meet, kan soos volg verloop:

- (a) Bepaal die watervereiste van die meng soos dit gebruik word.
- (b) Neem 'n verteenwoordigende monster van sê 2,0 kg.
- (c) Meng die monster deeglik en voeg nog water by om 'n maklik werkbare en selfverdigbare meng te kry.
- (d) Plaas die meng dan in 'n standaard 0,600 mm sif (250 mm deursnit), verdig so goed moontlik sonder dat mortel deur die sif vloei en hang dan die sif effens skuins op totdat alle water wat wil uitbeweeg, uitgesyfer het.



- (e) Droog die orige water onder die sif af en neem 'n monster so groot moontlik van die oorgeblewe materiaal op die sif. Weeg die nat monster tot 'n akkuraatheid van 0,1 g.
- (f) Droog die monster wat van die sif geneem is onmiddellik by 100- 105°C totdat 'n konstante droë massa verkry is. Weeg die droë monster.
- (g) Bepaal die hoeveelheid kleeewater deur die massa verskil tussen die nat en droë monster te bepaal. Bepaal dan hieruit die persentasie water per totale droë massa wat vasgehou was.
- (h) Bereken dan die absolute volume vaste materiaal in die oorspronklike meng, sê per m<sup>3</sup> beton en bepaal die massa kleeewater volgens die persentasie soos bepaal in (g).

As die kleeewater massa kleiner is as die watervereiste of water gebruik in die meng, sal die beton bloei en die oormaat water bo die kleeewater massa sal aandui tot watter mate die beton sal bloei - ekstern plus intern. As die kleeewater massa gelyk of groter is as die watervereiste, sal die beton nie bloei nie.

Aangesien hierdie 'n sterk positiewe metode is wat ook interne bloei insluit en wat nie deur vormfaktore beïnvloed kan word soos dit die geval is met die huidige bloeimonsters nie, moet dit voorkeur geniet bo die huidige metodes om bloei te meet. Die menslike faktor en herverdigting probleme met die huidige meters word ook uitgeskakel en 'n geheelbeeld van eksterne en interne bloeivermoë word verkry.

#### 6.4 Kleeewater en Spesifieke oppervlakte (S<sub>0</sub>):

Die spesifieke oppervlakte (S<sub>0</sub>), is ook vir elke meng bepaal

soos voorheen beskryf. In fig. L.11 word die minimum kleefwatervermoë gestip teenoor die betrokke SO van die meng. Weer lyk dit of daar nie 'n duidelike verband is tussen SO en kleefwatervermoë nie. 'n Interessante waarneming, is dat vir minimum kleefwatervermoë die SO kleiner as  $2\,000\text{ cm}^2/\text{cm}^3$  is. Dit sluit ook enige met duinsand in.

Hoewel die kleefwatervermoë styg met die byvoeging van duinsand, blyk dit tog dat die SO nog steeds tussen 1 850 en  $2\,000\text{ cm}^2/\text{cm}^3$  moet lê vir min kleefwatervermoë. As die SO dus verhoog word deur materiaal met groot SO by te voeg, beteken dit net dat die perk van  $2\,000\text{ cm}^2/\text{cm}^3$  oorskry kan word en dat meer water as wat nodig is vasgehou word. As dit dan die geval is, beteken dit dat sigbare bloeiing miskien gestop word ten koste van krimpvermoë en dat die krimpvermoë verhoog word. Een ewel word dan miskien verruil vir 'n ander ewel wat miskien erger is.

In 'n soeke na 'n verband tussen kleefwatervermoë en SO, is al die waarnemings op fig. L.12 gestip en getabuleer in tabel 6.3.

Kurwe passings het die volgende vergelykings gegee. Die letter y is deurgaans gebruik vir die kleefwatervermoë in  $\text{g}/\text{cm}^3$  (absolute volume).

(a) Reguitlyn verband:

$$y = 0,00082 x - 1,3274 \text{ met korrelasie koëffisiënt} = 0,939.$$

$$x = 1077,5 y + 1\,668,3 \text{ met korrelasie koëffisiënt} = 0,939.$$

Kleefwater-vermoë g/cm <sup>3</sup>	Spesifieke oppervlakte cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>	Kleefwater-vermoë g/cm <sup>3</sup>	Spesifieke oppervlakte cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>
0,304	1 893	0,718	2 392
0,353	1 992	0,330	1 968
0,568	2 288	0,460	2 210
0,251	1 967	0,573	2 285
0,332	2 121	0,223	1 982
0,406	2 152	0,318	2 070
0,280	1 880	0,210	1 867
0,191	1 851	0,301	1 969
0,206	1 905	0,200	1 881
0,236	1 936	0,218	1 912

Kleefwater-vermoë g/cm <sup>3</sup>	Spesifieke oppervlakte cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>
0,373	2 018
0,337	1 943
0,339	2 076
0,426	2 204
0,490	2 233
0,250	1 988
0,191	1 859
0,239	1 929
0,292	1 976
0,208	1 887

Al die menge bevat 20% sement en 80% toeslag.

**Tabel 6.3:** Kleefwatervermoë teenoor Spesifieke Oppervlaktes (SO).



(b) Eksponensiële kurwe:

$$y = 1\,704,4 e^{0,51 x} \text{ met korrelasie faktor } r^2 = 0,87.$$

(c) Logaritme kurwe:

$$y = 2\,477,2 + 385,95 \ln x \text{ met } r^2 = 0,87.$$

(d) Magsverheffing kurwe:

$$y = 2\,509,7 x^{0,19} \text{ met } r^2 = 0,86.$$

Dit blyk dus dat 'n reguitlyn kurwe 'n beter pas is as die eksponensiële, logaritme of die magsverheffingskurwes. As die 12 waardes met SO laer as  $2\,000 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$  en kleefwatervermoë laer as  $0,25 \text{ g/cm}^3$  beskou word, kan daar nogal 'n reglynige verband wees tussen SO en kleefwatervermoë soos met die stippellyn aangedui in fig. L.12. Hierdie gestipte waardes is almal vir mense met goeie verpakking.

Die algemene gevolgtrekking wat 'n mens hieruit kan maak, is dat groter SO beslis groter kleefwatervermoë het. Die belangrike deel is egter dat kleefwatervermoë persentasie-gewys baie vinniger toeneem as die toename in SO. Kleiner toenames in kleefwatervermoë teenoor SO word verkry in die omgewings van goeie verpakking. As die stippellyn beskou word, is oor 'n kort bestek die toename in kleefwatervermoë ongeveer 37% vir 'n 12% toename in SO terwyl die kleefwatervermoë met 92,3% toeneem vir 'n toename van 12% in SO as die vollyn kurwe, dit wil sê die globale prentjie, beskou word.

Weereens is dit duidelik dat deur net SO by te voeg, die groter toename in kleefwatervermoë nie uit die oog verloor moet word nie en dat dit inderdaad die hele karakter van die beton sterker beïnvloed as wat gewoonlik verwag word. Die enigste gevolgtrekking wat nou gemaak kan word, is dat blote

byvoeging van oppervlakte om water vas te hou, nie altyd 'n bevredigende oplossing van die probleem is nie. Dit sal in skraal menge werk waar verpakking verbeter word deur ekstra fyn materiaal by te voeg, maar waar ekstra fyn materiaal nie verpakking verbeter nie, is ekstra SO nie 'n goeie oplossing nie. As seesand menge dus neig om te bloei, sal dit nie betaal om ekstra fyn materiaal by te voeg om die water vas te hou nie. Dit sal waarskynlik beter wees om 'n growwe materiaal soos 4,8 mm klip of baie growwe sand by te voeg om algehele verpakking te verbeter, sodat die watervereiste verlaag kan word. As die verpakking reg is en die watervereiste kan verlaag word vir dieselfde werkbaarheid, moet bloeiwater ook beperk word.

As seesand menge dus droog lyk, maar tog goed verdigbaar is en 'n mens weet wat aan die gang is, kan 'n bietjie geduld, gesonde oordeel en die aanvaarding van eksterne bloei tog die situasie red en 'n goeie beton kan gemaak word. As 'n mens dus bereid is om sover te gaan, is daar min rede waarom seesand en selfs super fyn duinsand nie baie goed benut kan word in betonmenge nie.

#### 6.5 Gevolgtrekkings:

Na aanleiding van hierdie reeks toetse, kan die volgende gevolgtrekkings nou gemaak word:

- (a) Beste verpakking val min of meer saam met minimum kleefwatervermoë. Die kleefwatervermoë neem vinnig af met verbetering in verpakking, maar die snelhede van afname verskil van mengsel tot mengsel.
- (b) Geen uitgespelde verband kon tussen minimum kleefwatervermoë en beste verpakking, vasgestel word nie.

- (c) Duinsand saam met 4,8 mm klip, 12 mm klip, optimum 4,8 en 12 mm klip en optimum 4,8; 12 en 19 mm klip, gee lae aanvaarbare kleefwatervermoëns sowel as goeie verpakking.
- (d) Menge wat duinsand bevat, het gewoonlik 'n droë voorkoms. Nogtans verdig hulle goed. 'n Geringe oormaat water moet in duinsand Menge verwag word vir redelike werkbaarheid en dit kan verwag word dat sulke Menge sal bloei.
- (e) Kennis van die bloei eienskappe van Menge wat duinsand bevat, geduld en die regte hantering van die Menge, kan wel goeie beton met lae finale waterinhoude, lewer.
- (f) Die verdigbaarheidsvermoë is waarskynlik 'n beter maatstaf om beton wat duinsand bevat te beoordeel as om streng op sy sigbare werkbaarheid te konsentreer.
- (g) Beton met duinsand sal moeiliker oor lang afstande in statiese toestand vervoer kan word en effektiewe hermenging daarvan kan lastig wees.
- (h) As meer water vasgehou word, sal die krimpvermoë van die beton ook styg.
- (i) Beter verpakking en lae kleefwatervermoë moet eerder nagestreef word as om net te soek na metodes om meer water vas te hou. Meer oppervlakte byvoeging net om water vas te hou is nie altyd 'n bevredigende oplossing van die probleem nie.
- (j) Lae kleefwatervermoë beton met 'n hoë persentasie duinsand, sal moontlik met behulp van trilbewerking verdig moet word. Handbewerking sal moeilik werk en te veel energie vereis. Dit sal ook moeiliker wees om met



handbewerking konstante kwaliteit beton te verseker.

- (k) Beton kan vervaardig word sonder dat dit 'n bloeivermoë  
hoef te besit. Watervereistes vir mengte laer as die  
verwagte kleeewater inhoude kan net met trilbewerking  
verdig word.
- (l) Meer water kan vasgehou word deur baie fyn materiaal by  
te voeg, maar dit is nie 'n volkome oplossing nie,  
omdat die kleeewatervermoë kan styg tesame met 'n  
verswakking in die verpakingsvermoë en 'n styging in  
die krimpvermoë. As die byvoeging van meer fyn  
materiaal egter die verpakking verbeter, sal die  
watervereiste daal en bloeiing eerder op hierdie wyse  
beperk.
- (m) Handverdigte mengte en mengte met uitsakkings van meer as  
50 mm sal waarskynlik bloei wanneer hulle volkome  
verdig is en veral wanneer geen hulpmiddels soos  
plastiseerders en waterspaarmiddels gebruik word nie.
- (n) Die bloeivermoë van 'n beton moet eerder bepaal word  
deur sy kleeewatervermoë te bepaal en dit te vergelyk  
met sy watervereiste of water wat vir die mengte gebruik  
word.
- (o) Daar is nie 'n onbetwisbare verband tussen SO en  
kleeewatervermoë nie, maar dit blyk tog dat minimum  
kleeewatervermoë bereik kan word met SO kleiner as  
 $2\ 000\ \text{cm}^2/\text{cm}^3$ .
- (p) Die algehele verband tussen kleeewatervermoë en SO is  
nie sterk nie. 'n Sterker verband word gevind by SO en  
lae kleeewatervermoë. In laasgenoemde geval is toename  
in kleeewatervermoë minder gevoelig vir toename in SO  
as in die skynbare globale verband.

- (q) Slegs meer SO sal nie noodwendig meer water vashou nie. Dit kan selfs bloeiing verhoog as verpakking verbeter word en nie minder water gebruik word nie.
- (r) Om sigbare bloeiing te bekamp, is dit nodig dat eers na die meng in sy geheel gekyk word, om die oorsaak van bloeiing vas te stel en dan die meng te verbeter desnoods deur fyn materiaal of selfs growwe materiaal by te voeg. Die beste uitweg bly nog steeds om minder water te gebruik en te soek na metodes om water te verminder sonder om werkbaarheid en verdigbaarheid prys te gee.
- (s) In superfyn sand asook ander fyner sandsoorte, moet al die korrels met water gesmeer word. Sigbare bloeiing word teëgewerk deur die groter wrywingsweerstand in die voorsienbare kleiner kanaaltjies weens kleiner korrels, waarin water moet beweeg. Die verwagte groter interne bloeiing kan porositeit verhoog en sterkte effens nadelig beïnvloed. 'n Verlaging in sterkte van 3 - 5% is moontlik en veral by hoër sterktes beton waar die groter hoeveelheid sement weens groter watervereiste, ook verpakking benadeel. Noukeurige en voldoende verdigting kan verlaging in sterkte teëwerk asook sorgvuldige effektiewe herverdigting. Meer verdigting word benodig as by gewone beton.

## - HOOFSTUK 7 -

### KRIMPING VAN BETON EN MORTEL

#### 7.0 Krimping:

Die fisiese eienskappe soos byvoorbeeld krimping, kan belangrike faktore wees wanneer 'n besluit geneem moet word oor die gebruik van duinsand en veral superfyn duinsand as betonmateriaal. Niemand sal graag verhoogde krimping verwelkom nie en dus is hierdie aspek ook ondersoek.

#### 7.1 Krimpteorie en agtergrond:

Indien normale fyn en growwe toeslag wat normaalweg vir geen abnormale krimping verantwoordelik is nie gebruik word, kan die enigste bestanddeel van beton en mortel wat volume veranderinge kan teweegbring net die sement in sy gehidreerde vorm of met ander woorde die sementgel soos tevore gedefinieer, wees. Hierdie stelling moet egter gekwalifiseer word, want 'n deel van die volumeverandering van die gel is op sy beurt weer afhanklik van die beweging van water in en uit die gel. Die beweging van water word egter nie net tot die gel alleen beperk nie, maar kan ook in en uit die tussenruimtes of tussengreinspore tussen die konglomerasies van gehidreerde sementkorrels beweeg om volume veranderinge teweeg te bring. Voordat hierdie probleem verder bespreek word, is dit nodig om eers te kyk na wat tydens die hidrasieproses gebeur.

##### 7.1.1 Hidrasie- en krimping:

Sement kan net ten volle hidreer as daar genoeg water is vir die chemiese hidrasieproses en dus 'n minimum w/s



verhouding van 0,23 - 0,25, en indien daar genoeg ruimte is vir die gel om in te vorm. Powers<sup>(37)(38)</sup> en Steinour het gevind dat 1 soliede  $\text{cm}^3$  ongeveer 1,6  $\text{cm}^3$  soliede hidraat vorm as die sement hidreer. Die hidraat wat 'n skil (gelskil) om die ongehidreerde sement kern vorm, moet egter versadig bly met water om meer water toe te laat na die ongehidreerde kern vir verdere hidrasie.

Powers en Steinour het ook gevind dat die digste vorm van die hidraat 'n porositeit van 28% het en dat as 1  $\text{cm}^3$  sement dus volkome hidreer, die hidraat 'n globale volume van  $1,6/0,72 = 2,2 \text{ cm}^3$  moet beslaan. Dit beteken dat 1,2  $\text{cm}^3$  hidraat buite om die oorspronklike sementkorrels gevorm moet word. As elke sementkorrel omring word met water, beteken dit dat hierdie beskikbare ruimte vir die gel oorspronklik deur water beslaan moes gewees het. Dus om net vir gel alleen voorsiening te maak moes die w/s verhouding  $= 1,2/3,14 = 0,38$  gewees het.

Indien 1  $\text{cm}^3$  sement met massa 3,14 g nou  $0,38 \times 3,14 = 1,19$  g water benodig, sal die totale volume van die sement + water  $= (1 + 1,19) = 2,19 \text{ cm}^3$  wees. Aangesien die oorspronklike soliede hidraat slegs 1,6  $\text{cm}^3$  beslaan, beteken dit dat die hidraat se soliede volume kleiner is as die soliede volumes van die sement en water tesame.

Daar moet egter ook nog op 'n verdere faktor gelet word, naamlik dat die hidraat versadig moet wees met water vir voortgesette hidrasie. As die hidraat 'n porositeit van 28% het, beteken dit dat die volume water in die hidraat  $= 0,28 \times 2,2 = 0,616 \text{ cm}^3$  of gelykstaande aan 'n w/s  $= 0,616/3,14 = 0,196$  is. Indien sement 'n w/s  $= 0,25$  benodig vir volle chemiese hidrasie, beteken dit dat slegs  $(0,38 - 0,25) 3,14 = 0,408 \text{ cm}^3$  water beskikbaar is om die gel te versadig, terwyl  $0,616 \text{ cm}^3$  in werklikheid benodig word. Daar is dus 'n tekort van  $(0,616 - 0,408) = 0,208$

$\text{cm}^3$  aan water wat van buite af ingevoer moet word. Dit kom dus daarop neer dat om  $1 \text{ cm}^3$  sement volkome te hidreer, 'n  $w/s = (0,25 + 0,196) = 0,45$  benodig word of dat  $0,45 \times 3,14 = 1,413 \text{ cm}^3$  water benodig word. Die totale vaste volume betrokke is dus nou  $(1,413 + 1) = 2,413 \text{ cm}^3$ .

Indien nou slegs  $2,2 \text{ cm}^3$  gel gevorm word, beteken dit dat 'n finale potensiele krimpings as gevolg van sementhidrasie van  $(2,413 - 2,2) \div 2,4 \times 100 = 8,88\%$  verwag kan word. Dit beteken egter nie dat die krimpings van die beton of mortel as gevolg van die potensiele krimpings van die hidraat ook so groot sal wees nie selfs al word net die breukdeel wat die sement van die totale meng beslaan, beskou. Krimpings veroorsaak spannings in die bindmiddel wat die elastiese hidraat kan verleng en die toeslag kan saampers. Dit is daarom ook nie vreemd dat minder krimpings ondervind word met toeslag met hoër E-waardes nie. Netso is dit ook nie vreemd dat interne mikrokrake gevorm word en veral om die groter korrels nie.

As groter  $w/s$  verhoudings gebruik word, sal krimpings as gevolg van sementhidrasie ook verhoog word, maar nie in dieselfde verhouding nie, omdat die hidraat nou gevorm word met 'n veel groter porositeit sodat groter volumes beslaan word. Hierdie neiging is duidelik sigbaar in figure M.1 - M.6 waar  $w/s$  verhoudings van 0,50; 0,60 en 0,70 gebruik is.

Die begintoestande kan heel anders verloop as wat hierbo verduidelik is en veral as die mortel of beton eers onder water nabehandeld is. Murdock<sup>(27)</sup> het getoon dat 'n  $w/s$  van ongeveer 0,30 - 0,33 benodig word om die sementkorrels effektief te smeer vir werkbaarheid. In "Die Rol van Water in Beton"<sup>(12)</sup>, is getoon dat water aan sementkorrels kan vaskleef teen 'n  $w/s$  van ongeveer 0,10. Maar water



sal ook aan toeslagkorrels vaskleef en sal beskikbaar wees vir hidrasie. As hierdie water nou onttrek of verbruik word in die hidrasieproses, moet verwag word dat die beton of mortel feitlik onmiddellik sal begin krimp as die water nie aangevul word nie. As daar dus geen onmiddellike nabehandeling is nie, begin krimp onmiddellik.

Indien die beton of mortel egter onder water geplaas word en die voorraad water kan feitlik onbeperk aangevul word, sal 'n onmiddellike krimp na verdigtig nie volg nie. As die waterlagies om die sementkorrels ekwivalent is aan 'n w/s van 0,30 (sê) sal die totale soliede volume van water + 1 cm<sup>3</sup> sement =  $(0,30 \times 3,14) + 1,0 = 1,942 \text{ cm}^3$  wees. Na volle hidrasie van die 1 cm<sup>3</sup> sement, sal dit 'n volume van 2,2 cm<sup>3</sup> beslaan sodat 'n totale swelling van die sementpasta van  $(2,2 - 1,942) \div 2,2 \times 100 = 11,7\%$  verwag kan word. Let op dat dit net kan geskied as water steeds van buite toegevoeg word. As geen water van buite af toegevoeg word nie en die w/s bly = 0,30 sal al die sement nie hidreer nie en slegs 'n gedeelte teen 'n ekwivalente w/s verhouding van 0,45 sal hidreer en die pasta sal krimp ten spyte van sy potensiaal om te swel.

Uit die aard van die saak sal die w/s verhouding groter wees as die minimum van 0,10; maar dit kan ook kleiner wees as Murdock se smeerwater van w/s = 0,30 - 0,33 by ryk menge. Onbelemmerde toevoeging van water sal swelgroei van die sement bevorder en moet verwag word dat die mortel of beton in sy geheel ook sal swel. Intussen moet ook verwag word dat die hidraat of bindmiddel sal sterker word en nie maklik vryelik kan swel nie. Hierdie aksie sal egter so verloop totdat hidrasie grotendeels voltooi is, waarna die meng moet stabiliseer. Die kurwes in figure M.1, M.3 en M.5, toon dat dit ongeveer 10 - 15 dae neem voordat waarneembare aanvanklike stabilisasie intree en dat hidrasie in sekere gevalle redelik ver gevorder het



gedurende hierdie tydperk. Ryker menige sal waarskynlik 'n bietjie langer neem om finaal te stabiliseer en dit kan voorsien word dat menige met w/s verhoudings van kleiner as 0,38 sommeer heelwat langer sal neem om onder water te stabiliseer. Menige met lae w/s verhoudings ( $< 0,38$ ), kan dus potensieel 'n groter swelaksie ondergaan oor 'n redelike tydverloop, maar die swelaksie kan ook nie onbeperk voortduur nie. Soos die hidraat of gelskille om die ongehidreerde kerns groei en ook die tussengreinporieë tussen al die korrels begin toegroei, sal dit neig om die kern meer en meer af te sluit van buitewater. Vir verdere hidrasie sal dan teruggeval moet word op die orige water in die tussengreinporieë wat verbruik sal word sodat 'n krimpingsverwag kan word, al is die beton of mortel nog steeds onder water. Hierdie krimpings kan die potensiele swelaksie van lae w/s verhoudings teëwerk en 'n skynbare stabiele toestand skep. Die hobbelrige neiging van fig. M.1 oor die eerste 100 dae van die duinsand mortel vir 'n w/s = 0,50 ondersteun hierdie gesigspunt. Figure M.3 en M.5 met w/s verhoudings van 0,60 en 0,70 verloop veel gladder oor die eerste 100 dae en toon ook die geleidelike krimpings, hoewel steeds onder water bewaar.

Powers<sup>(37)</sup> het ook getoon dat beton wat onder water verhard, 'n uiters lae permeabiliteit besit en dat dit tot 70 maal kleiner kan wees as wanneer dieselfde beton eers uitgedroog het en dan vir permeabiliteit getoets word. Hierdie lae permeabiliteit wat verhoed dat water vryelik aan alle ongehidreerde kerns van buite af beskikbaar gestel word, moet beslissig bydra tot die interne ontwatering van tussengreinporieë en krimpings onder water bevorder. Dit is ook 'n bekende feit dat water uiters stadig diffundeer deur beton, sodat beskikbaarstelling van water binne die eenheid verder beperk word.

Onderwater krimpings moet eerder verwag word by mortel en

beton met hoër w/s verhoudings omdat dit bekend is dat hidrasie van sement vinniger vorder by hoër w/s verhoudings as by lae w/s verhoudings. Figure M.3 en M.5 toon, duidelik dat hoër w/s verhoudings byvoorbeeld w/s = 0,70 vroeër begin krimp na 40 dae, as mortel met w/s = 0,60 en 0,50 wat heelwat meer as 100 dae benodig voordat krimpings verwag kan word. Tabel 7.1 werp verder lig op hierdie verskynsel en verklaar ook waarom beton en mortel met lae w/s verhoudings probleme het om water beskikbaar te kry vir hidrasie.

W/s verhouding per massa	Tyd benodig om tussengreinporieë te blokkeer
0,40	3 dae
0,45	7 dae
0,50	14 dae
0,60	6 maande
0,70	1 jaar
groter as 0,70	nooit

Tabel 7.1:<sup>(12)</sup> Benaderde tyd benodig om tussengreinporieë te blokkeer.

#### 7.1.2 Die invloed van bewegende water:

In die begin net na verdigting, sal die water om al die korrels eerstens gebruik word om die sement te hidreer en daarna sal die orige vrywater vry wees om te verdamp of te verdwyn. Die ruimtes wat die water beslaan het voor verdamping, kan nou òf as leë ruimtes bly òf kan toegegroei word met die sement-hidraat.

Omdat die gel versadig moet bly met water om die



hidrasieproses verder te laat verloop, kan verwag word dat alle gelporieë van die sement wat reeds hidreer het, aanvanklik gevul sal wees met water terwyl lagies water ook om die pasgevormde kolloïde sal vaskleef. Netso kan verwag word dat die tussengreinporeë, dit wil sê die poreë of ruimtes tussen die korrels van die meng en die wat nie volkome toegegroeï is nie, gevul sal wees met water indien voldoende hoeveelheid water beskikbaar is soos byvoorbeeld in beton of mortel wat onder water bewaar word.

In die onderwater toestand of waar voldoende water van buite af voltyds voorsien word en die gel feitlik sonder veel spanning kan groei, kan verwag word dat al die gelporeë goed gevul bly met water en in 'n oopgesperde toestand verkeer met poreëwande wat blykbaar nie baie sterk is nie. Vandaar dan ook die groot impermeabiliteit van beton wat onder water verhard. Sodra die voorsiening van water van buite gestaak word of die beton of mortel in die opelug beland en begin uitdroog, sal eers die vrywater uit die tussengreinporeë verdwyn en dan die water uit die gelporeë. Verlies van hierdie water sal onmiddellik die totale vaste volume van die beton verlaag en krimpings moet verwag word. Dit is ook ruimskoots bewys dat vroeë krimpings en krimpings in sy geheel gekoppel kan word aan verlies van water uit die beton. (Sien kurwes, fig. 23.2 in "Die Rol van Water in Beton"<sup>(12)</sup> en die ACI Monograph<sup>(42)</sup>.)

Hoewel verlies aan water uit die tussengreinporeë in stadia kan verloop, kan hierdie stadia nie vanmekaar onderskei word nie en moet dit eerder as 'n deurlopende proses beskou word. Onttrekking van hierdie onverbonden water geskied redelik maklik sodat hierdie tipe water beskou kan word as maklik verwyderbare water.



Water onttrek uit die tussengreinsporieë kan weer maklik teruggeplaas word, maar die water verwyder uit die gelsporieë lewer beslis terugplasingsprobleme. As oopgesperde gelsporieë aanvaar word en die water word daaruit verwyder, kan die gelsporieë ineenstort en toeval en verhoed dat water weer die gelsporieë binnedring en tot dieselfde mate oopsper, by hertoevoeging van water. Terwyl die water uitbeweeg het, het die kolloïde en ook konglomerasies hidraat van hidrerende sement, nader aan mekaar beweeg, hoofsaaklik onder die invloed van Van der Waals- en meniskuskragte, en aldus verder hertoelating van water belemmer. 'n Onherstelbare permanente krimp kan dus verwag word. Die mate waartoe die gelsporieë weer gevul kan word met water en weer oopgesper kan word, sal ook die mate van herstelbare krimp bepaal. Beton sal dus swel en krimp soos water in of uit die beton beweeg.

Dit is interessant om daarop te let dat water wel teruggedwing kan word onder druk. Toetse by San Remy les Chevreusses, buite Parys, was daarop gemik om vas te stel wat met beton gebeur wat onder hoë waterdruk verkeer soos verwag kan word by die Noordsee boortorings. Hul toetse het duidelik bewys dat sulke beton oor 'n tydverloop aansienlik kan swel ten spyte van die druk daarop en die verwagte elastiese verkorting. Sekerlik 'n goeie bewys dat as geslote porieë weer opforseer word, krimp kleiner moet word en 'n aansienlike krimpherstel verwag kan word. Onder normale omstandighede kom sulke hoë drukke selde voor en moet 'n onherstelbare permanente krimp verwag word.

Soos in "Die Rol van Water in Beton"<sup>(12)</sup> verduidelik, is daar nog 'n tipe water om mee rekening te hou, naamlik die moeilik verwyderbare ongebonde water. Hierdie tipe water kleef gewoonlik om die kolloïde vas in lagies wat wissel van 1 - 5 molekule laagdiktes (Tabel 23.1 in "Die Rol van

Water in Beton"). In normale droë beton, is die laagdiktes na raming ongeveer in die omgewing van ekwivalent aan 2 molekulêre laagdiktes of 0,515 nm. Ten spyte van die kleinheid van hierdie lagies, kan hulle tog 'n beduidende invloed op die totale volume verandering van die beton hê omdat hulle so baie is. Die verandering van 5 molekulêre laagdiktes by 100% relatiewe humiditeit (RH) na 2 molekulêre laagdiktes by 50% RH kan dus nie geheel buite rekening gelaat word nie.

Onttrekking van hierdie water vereis drastiese metodes soos baie lae humiditeite en langdurige hoë verdampings-temperature. Dit kan ook heelwat tyd in beslag neem omdat dit nou 'n geval is van die relatiewe spoed van diffusie van water deur die beton of mortel. In die laboratorium is gevind dat 38 x 38 x 160 mm mortel stafies tot 5 dae en meer neem om by 100 - 105°C tot konstante massas uit te droog. Bazant<sup>(36)</sup> reken ook dat dit van 10 - 16 jaar en soms selfs langer kan duur voordat 'n enkele 150 mm kubus dwarsdeur sy eie RH versoen met dié van die omgewing as dit toegelaat word om uit te droog. Skrywer meen dat hierdie tydperk moontlik 'n bietjie hoog geskat is. Bazant baseer egter sy stelling op die feit dat dit ongeveer 8 uur neem vir 'n skyfie mortel, 1 mm dik, om albei kante dieselfde RH te bereik as die RH aan een kant hoër of laer is as die RH aan die ander kant.

In teenstelling met uitdroging, lyk dit of beton redelik vinnig water kan opneem en swel. Die rede is moontlik dat die gel- en tussengreinporiese eerste gevul word en 'n konstante toevoer kan lewer aan dié dele wat soek na water. Weens die lae diffusie vermoë van water deur beton, is dit ook logies om te verwag dat konstante voorsiening van 'n oormaat water vinniger 'n groter invloed sal hê as verwydering van vaskleefwater bloot deur verlaging van die relatiewe humiditeit (RH). Die



vogtigheids- of dampdruk as gevolg van 'n oormaat water is ook veel groter as die druk om feitlik vrywillig asimptoties te nader na balans met die omgewing se RH. 'n Meer dramatiese volume verandering moet dus verwag word tydens benatting as tydens uitdroging onder normale toestande sonder abnormale druk soos baie lae humiditeite en hoë verdampingstemperature.

Dit is nogtans interessant om te let op die gevoeligheid teenoor en die relatiewe spoed waarmee beton en mortel op RH veranderings reageer. Akkurate lengte metings van 38 x 38 x 160 mm toetsstafies verraaï baie vinnig, hoewel met 'n vertraagde reaksietyd, enige RH verandering en onderskei maklik tussen warm droë dae en klam vogtige dae as die stafies nie in lugversorgde gebiede bewaar word nie. Metings is in die laboratorium onder konstante RH ( $55 \pm 1\%$ ) en temperatuur ( $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ) gedoen en as die lugversorgingseenheid vir so min as een dag afgeskakel was, verraaï die metings dit. Hoewel veranderings redelik vinnig geskied, beteken dit egter nie dat stabilisering net so vinnig geskied nie. Oorvoldoende tyd moet gelaat word vir stabilisering en veral vir uitdroging soos hierbo verduidelik.

Die beweeglikheid van maklik verwyderbare ongebonde water kan dus grotendeels verantwoordelik gehou word vir die steeds wisselende volume verandering van beton; temperatuur wisselings word natuurlik hierby uitgeslote. Die wisselende oop- en toemaak van porieë en dikte wisselinge van vlieswater om kolloïde kan veroorsaak dat die kolloïde of gebonde aggreagaat korrels met verloop van tyd gestabiliseer raak ten opsigte van mekaar. Netso kan verwag word dat wanneer pasta of bindmiddel gedurig onderwerp word aan spanningswisselings, soos tevore verduidelik, hulle ook kan stabiliseer en dat die maksimale rek-en-krimp gaping kan vernou na 'n groot



aantal herhalings. Helmuth<sup>(41)</sup>, het byvoorbeeld gevind dat na 'n aantal herhalings krimp die mortel nie tot dieselfde mate as voorheen nie, hoewel die verskil klein is. As die mortel om die korrels, en veral die groter korrels, kraak as gevolg van krimp van die sement bindmiddel, is dit nie moeilik om so 'n stabilisasie te voorsien nie wanneer beweging beperk word tot die oop- en toemaak van krake. Die mortel kan nou ook nie so 'n groot krag uitoefen as toe dit nog ongekraak was nie.

### 7.1.3 Aanvanklike water in die beton:

Die wesenlike invloed op krimp, veroorsaak deur die aanvanklike uitbeweeg van water uit beton, dui daarop dat krimp 'n funksie is van die hoeveelheid water in die beton net voor uitdroging begin. Indien die beton nie nabehandeld word nie en dadelik begin uitdroog, beteken dit dat krimp ook 'n funksie is van die hoeveelheid water in die beton net na verdigting. Aangesien water 'n groot volume het teenoor sy massa ( $RD = 1,0$ ), sal verlies aan hierdie "soliede" komponent noodwendig krimp dramaties beïnvloed. Hoe meer water in die begin in die beton is, hoe meer sal die beton krimp.

Enige bymengsel of vuller wat water vashou in beton sal, soos die geval met byvoeging van possolane of vlieg-as, groter krimp in die hand werk. Netso sal beton met 'n hoë watervereiste en groot interne bloeiing of selfs net groot interne bloeiing alleen ook krimp in die hand werk. Goeie verpakking van die toeslagkorrels en sement wat self op 'n vroeë stadium teenmekaar stuit, sal weer krimp teëwerk. Daarom is dit wenslik om lievers te gaan vir 'n beton met lae interne bloeiing al lyk die eksterne bloeiing onaanvaarbaar.

Soos reeds gesien, het superfyn duinsand gewoonlik 'n

redelike hoë watervereiste, selfs met 'n meng wat goed verpak. Duidelike eksterne bloeiing moet ook verwag word, maar aangesien die korrels nou baie klein is, kan verwag word dat die kanaaltjies waarlangs bloeiing moet plaasvind baie kleiner sal wees as in beton met growwe sand sodat eksterne bloeiing ook stadiger sal voorkom. Die gevaar is nou dat interne bloeiing sal verhoog, hoewel die totale meng se potensiële minimum porositeit dieselfde mag wees as dié van sy eweknie met laer watervereiste. Die geringe groter krimp van die duinsand mengte teenoor die krimp van gewone sandmengte, kan dus hiermee verklaar word.

Nog 'n belangrike aspek wat nie uit die oog verloor mag word nie, is dat hidrasie van sement feitlik tot stilstand kom sodra die beton se interne RH daal tot 80%. Daal die RH tot heelwat laer as 80%, staak hidrasie geheel-en-al en moet die beton wag vir vogtige geleentheidjies om water uit die omgewingsatmosfeer te haal vir verdere hidrasie. Op hierdie stadium raak die gelporieë leeg en raak die gel onversadig.

As die hidrasieproses staak, sal sterkte toename sowel as krimp ook staak. Beton wat intern bloei, het 'n groter watervoorraad as een wat minder intern bloei en het dus 'n groter potensiaal om sy sement verder te laat hidreer. Dit beteken dat hierdie beton vroeër ook meer kan krimp as gevolg van hidrasie. As verdere hidrasie in beide die superfyn duinsand en gewone sandmengte dan afhanklik word van vog uithaal uit die atmosfeer sal die duinsand mengte vroeër as die gewone sandmengte stabiliseer en finaal hidreer.

#### 7.1.4 Die $\text{Ca}(\text{OH})_2$ probleem:

Soos verduidelik in "Die Rol van Water in Beton"<sup>(12)</sup>,



bevind groot  $\text{Ca(OH)}_2$  kristalle hulle in die gelskille om ongehidreerde sementkerns. Hierdie groot kristalle is maklik bereikbaar vir water vanaf die gel- en tussengreinpore.  $\text{Ca(OH)}_2$  is oplosbaar in water en kan maklik met  $\text{CO}_2$  uit die lug verbind om  $\text{Ca CO}_3$  te vorm. Aangesien die  $\text{Ca(OH)}_2$  eers in oplossing moet gaan, beteken dit dat dit uit die gel geloog word en dan as  $\text{Ca CO}_3$  neergeslaan word in ruimtes wat voorheen onbeset was. Verwydering van die groot kristalle vernietig hul aandeel tot weerstand teen krimpings sodat die gel verder krimp. Hoewel die  $\text{Ca CO}_3$  kristalle groter in volume is as die oorspronklike  $\text{Ca(OH)}_2$  kristalle, kan hulle nie verhoed dat die hidraat verder krimp nie omdat hulle in tevore onbesette ruimtes neergeslaan word. Hierdie neerslag in onbesette gedeeltes het egter die voordeel dat dit die beton daar verdig sodat sy laer porositeit ook die sterkte van die beton verhoog. Doelbewuste karbonasie in baie jong beton is al met sukses gebruik om die beton se porositeit te verlaag en sy sterkte te verhoog. Ongelukkig vind karbonasie plaas in die kontaksones met  $\text{CO}_2$  of die atmosfeer sodat die buitenste skil van die beton relatief meer krimp as die ongekarboneerde beton dieper in en gevolglik groot oppervlak krake veroorsaak.

Hierdie reaksie of karbonasie is op sy aktiefste by 'n RH van 55% en by 'n temperatuur van ongeveer  $40^\circ\text{C}$ . Die voorvereiste is natuurlik dat water vir die oplossing van  $\text{Ca (OH)}_2$  sowel as  $\text{CO}_2$  teenwoordig moet wees. As die toetsstuk pal onder water bly, kan dit wel van die  $\text{Ca(OH)}_2$  oplos, maar  $\text{CO}_2$  kan nie bykom om die reaksie te voltooi nie. Netso sal kurkdroë beton ook nie karboneer nie, omdat  $\text{CO}_2$  nou wel teenwoordig is, maar nie genoeg water om die  $\text{Ca(OH)}_2$  op te los nie.

Indien water deur 'n muur syfer of die beton aanhoudend nat en droë siklusse ondergaan soos in die spatsone of die



sone tussen hoog- en laagwater van reservoïrs, damme en getymure soos byvoorbeeld kaaimure, sal die aanhoudende in en uit of deurbeweeg van water ook neig om die  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  op te los en uit te loog met tyd. 'n Algehele krimpings kan dan ook met tyd verwag word. Sommige skrywers beskou die uitloog van  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  by die eerste verlies aan water of uitdroging en sy invloed op krimpings as baie dramatiese en aansienlik. Skrywer kan ongelukkig nie saamstem met hierdie siening nie, omdat  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  op sy beste nie so dramatiese oplosbaar is in water dat dit so 'n groot onmiddellike invloed kan hê nie. Dit lyk ook nie of skrywers wat bostaande siening onderskryf, veel begrip het van die potensiele krimpvermoë van hidrerende sement soos in paragraaf 7.1.1 verduidelik is nie. Uitloog van  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  met tyd is meer waarskynlik en krimpings as gevolg van uitloging van  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  is 'n stadige proses.

Wanneer die gewone uitdroogkrimpings probleem min of meer gestabiliseer het, kan karbonasie krimpings nog lank duur. Dit is uiters moeilik, indien nie onmoontlik nie om die grens te vind waar karbonasie krimpings oorneem. Weens hierdie rede is die krimp-toetse gestaak op net oor die 900 dae waarneming.

Daar is egter nog 'n aspek wat in gedagte gehou moet word as possolane by beton gevoeg word of deel van die sement vervang. Die bindende aksie van die possolaan ( $\text{Si O}_2$ ) is baseer op sy vermoë om met  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  te verbind indien voldoende hitte beskikbaar is. Weereens moet die  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  die  $\text{Si O}_2$  bereik om te kan verbind. Dit beteken weer dat die  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  in oplossing moet gaan en uit sy oorspronklike posisie in die gel verplaas moet word. 'n Soortgeltyke toestand as tydens karbonasie kan nou ontstaan, naamlik dat  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  uitloog, verbind met  $\text{Si O}_2$  en neerslaan in beskikbare oop ruimtes soos gel- en tussengreinsporieë. 'n Krimpings moet weereens verwag word.

Let op dat net soos in die geval van karbonasie word die opgeloste  $\text{Ca(OH)}_2$  onmiddellik verbruik sodat die water weer vry kom om nuwe  $\text{Ca(OH)}_2$  op te los en nie toegelaat word om as 'n versadigde oplossing op die  $\text{Ca(OH)}_2$  te stagneer nie. Hier is dus nog 'n rede waarom uitloog van  $\text{Ca(OH)}_2$  deur water alleen nie so 'n dramatiese effek kan hê op krimp nie.

Die feit dat possolaan-, slak- of vlieg-as sement-beton meer krimp, maar uiteindelik sterker word as soortgelyke gewone beton, bevestig die feit dat die kalk-silika verbinding neergeslaan het in tevore onbesette ruimtes, terwyl die groot sterk  $\text{Ca(OH)}_2$  kristal verwyder is uit die gel of hidraat. Hierdie aksie verlaag dus die porositeit van die beton en gevolglik moet die sterkte styg omdat sterkte direk afhanklik is van porositeit. Groter krimp as gevolg van possolaan byvoeging kan dus verklaar word deur die groter hoeveelheid water wat dit in die meng vashou met gevolglike kleiner sigbare bloeiing en die verbinding met die kalk wat die  $\text{Ca(OH)}_2$  kristalle verplaas uit gel.

Anders as karbonasiekrimping wat hoofsaaklik tot die kontaksones met die atmosfeer beperk is, kan hierdie krimp oor die hele betonmassa voorkom en vorm dus nie oppervlak krake soos by karbonasiekrimping die geval is nie.

## 7.2 Bespreking van die krimptoetse soos voorgestel in figure M.1 - M.6:

### 7.2.1 Krimp van pasta, mortel en beton:

Toets op skoon sementpasta (sement plus water), sement mortel en beton kan uiteenlopende resultate gee. Dit is dus noodsaaklik om die beperkings en verwagtings van elke



tipe toets sorgvuldig te evalueer en te kontroleer.

Met krimp-toetse op sementpasta alleen moet besef word dat wanneer die pasta verdig word, dit sal neig om te bloei indien die water/sement (w/s) verhouding nie baie laag is nie. Versakkings- en bloei-toetse op sementpastas met w/s verhoudings kleiner as 0,38 het getoon dat hierdie pastas ook bloei. Geringe bloeiing is gevind wanneer pastas met baie lae w/s verhoudings se werkbaarheid verhoog is met superplasti-seerders en selfs dan was 'n w/s = 0,30 nog nie voldoende om bloeiing te verhoed nie. As 'n mens weer kyk na die bevinding dat die water wat aan sementkorrels vaskleef ongeveer 'n w/s = 0,10 verteenwoordig terwyl die minimum w/s verhouding van tussen 0,30 en 0,33 benodig word om die sementkorrels te smeer, dan is dit te verstane dat pastas met lae w/s verhoudings sal bloei. In kort beteken dit dus dat die sementkorrels op 'n vroeë stadium net na verdigting so na aan mekaar kom dat 'n effektiewe w/s verhouding van beslis laer as 0,38 verwag kan word en dat die korrels teen mekaar moet stuit. Onderwater behandeling van pasta sal dus die pasta laat swel as die sement hidreer en hidrasie vorder. Interne bloeiing tydens en net na verdigting mag egter ruimte laat vir die hidraat sodat pastas (water plus sement) met aanvanklik groter w/s verhoudings nie soveel sal swel as pastas met lae w/s verhoudings nie. Die korrels wat in die bloei-proses gestapel word en teen mekaar stuit, sal egter steeds sorg vir 'n vir swelling.

Die verwagte digtheid van die hidrerende pasta sal waterdiffusie bemoeilik sodat finale krimp tydens uitdroging langsam sal geskied. Sodra die relatiewe humiditeit (RH) binne die pasta te laag word, laer as 80% RH byvoorbeeld, sal hidrasie staak en sal die onghidreerde sementkerns optree asof dit soliede aggregraat is.



Aangesien die sementpasta wat grootliks verantwoordelik is vir krimp van mortel en beton nou hoofsaaklik uit gel of hidraat bestaan, moet verwag word dat die krimp en swelvermoë van sementpasta groot sal wees; beslis groter as dië van mortel en beton. Ongelukkig kan die krimpvermoë van pasta alleen nie verwerk word om die krimpvermoë van mortel of beton te bepaal nie omdat fyn en growwe aggregraat korrels krimpings sal teëwerk. Die mate van weerstand teen krimpings is 'n funksie van die grootte van die betrokke korrels, die E-waarde van die aggregraat, die verwagte E-waarde van die gehidreerde sement of die hidraat, die mate van kraakvorming in die pasta of mortel om die groot korrels as gevolg van krimpings en die mate van korrelstuiting (particle interference) van die aggregraat korrels tydens en net na verdigting.

In die geval van mortel, word die sement pasta verdun deur die toeslag en gevolglik word die potensiële krimpvermoë ook verminder. Die aggregraat korrels is egter relatief klein sodat mikrokrakies om die aggregraat ook 'n minimum is. Goeie verpakking vir 'n goedgegradeerde sand word verkry by sementinhoud van 15 - 20% sement per (sement plus toeslag) volgens massas (Figure J.3 en J.4). Dit beteken dat die sementinhoud in 'n mortel nog steeds redelik hoog is. Die verwagte krimpings van 'n mortel moet dus heelwat hoër wees as dië van 'n goedverpakte en goed verdigte beton.

Die watervereiste vir 'n mortel is ook noodwendig hoër as dië van 'n beton sodat wanneer gesoek word na sterkte, kan die sementinhoud selfs nog hoër wees as bostaande syfers.

In beton waar groot growwe toeslag gebruik word, kan die growwe toeslag en veral as dit enkelgrootte korrels is, as 'n verdunner van die mortel beskou word. Minder mortel per volume eenheid word nou gebruik as wat die geval sou

wees as slegs mortel gebruik sou word. Die sementinhoud per volume eenheid word dus ook drasties verminder en gevolglik ook die potensiele krimp komponent.

Beste verpakking word nou verkry as die sementinhoud per (toeslag plus sement) effens laer is as die optimum verhouding van sement in 'n mortel. (Figure J.23, J.24, J.25 en J.27.) In sy geheel gesien lyk dit dan tog of 'n effens sementryker mortel benut moet word. Die krimpvermoë van die mortel in 'n beton kan dus effens styg.

As mortel nou die grootste aggregraat korrels moet omring ten einde dit te bind, beteken dit dat as die korrels weens hul hoë E-waardes weerstand bied teen krimp, dit die mortel deklagies om die groot korrels kan laat kraak. Mikrokrakies sal dus die spanning op die aggregraat verlig sodat 'n kleiner krimpvermoë verwag kan word.

In die geval van mortel moet die toeslag korrels en die sementkorrels stuit om eksterne bloeiing of om besinking te beëindig. In 'n beton sal stuiting tot 'n baie groter mate onderling tussen toeslag korrels, groot en klein, geskied. Stuiting onderling tussen korrels met hoë E-waardes, sal dan noodwendig ook krimpvermoë verlaag. Betonkrimpvermoë kan dus maklik verlaag word tot minder as die helfte van dié van die mortel. Ervaring in verband met krimpptoetse op mortel en beton bevestig hierdie drastiese verlaging in krimpvermoë.

Die grootte van die groter toeslag korrels speel egter 'n baie prominente rol in die krimpvermoë van beton. Groot korrels verplaas baie mortel of anders gestel, mortel word nie benodig om volumes gelyk aan dié van die groot korrels te vervaardig nie. Kleiner growwe toeslag korrels verplaas minder mortel. Menge met maksimum grootte toeslag korrels van 38 mm sal dus minder mortel, dit wil



sê fyn toeslag en sement, benodig as menge met maksimum grootte toeslag van byvoorbeeld 12 mm. Weens hierdie rede is die fyn toeslag (sand) inhoud van 'n 12 mm growwe toeslag meng ook groter as dié van 'n 38 mm toeslag meng.

As groot korrels die mortel daaromheen makliker laat kraak as klein korrels, sal beton met groter korrels ook minder krimp as beton met kleiner korrels. Nog 'n belangrike faktor is dat beton wat groter korrels bevat ook 'n laer watervereiste per  $m^3$  het as beton met kleiner korrels. As die hoeveelheid water wat in die meng agterbly net na verdigting direk eweredig is aan die krimpvermoë van die beton soos reeds verduidelik, sal die beton met die laer watervereiste ook potensieël minder krimp.

#### 7.2.2 Motivering van toetse op mortel en op metodes aangewend:

As superfyn duinsand (voortaan slegs as duinsand beskryf) dus 'n wesenlike invloed op krimp het, sal mortel stafies gouer en duideliker die verskil toon as betonstafies. Derhalwe is besluit om mortelstafies in die ondersoek te gebruik.

'n Ander oorweging is natuurlik die hanteerbaarheid en kleiner stoorruimte benodig vir mortelstafies. Kleiner stafies sou ook die opname en verlies aan water versnel as die lae diffusievermoë van water deur beton in gedagte gehou word.

Krimptoetse<sup>(36)(41)</sup> elders word gedoen op 1 - 3 mm dik gesaagde mortelplaatjies. Hoewel die metodes die krimpresultate aansienlik kan versnel, neem dit nogtans lank voordat finale resultate verkry word. Die vraag bly dan nog steeds tot watter mate sulke resultate aangewend kan word in die normale praktyk. Toetsstafies 38 x 38 x 160 mm is dus in die toetsreeds gebruik. Krimptoetse in



San Remy (Parys), het getoon dat betonsuile 150 x 150 x 2 000 mm vinniger krimp en stabiliseer as suile 500 x 500 x 2 000 mm, maar dat die uiteindelijke totale krimp min of meer dieselfde was.

In krimptoetse soos dié van Helmuth<sup>(41)</sup> en andere, is die proses versnel deur uitdroging met behulp van verhoogde verdampingstemperature gewoonlik in die omgewing van 100°C, te benut. Hoewel baie geleer kan word uit sulke versnelde toetse is die toestande abnormaal en die vraag is weer hoe om die resultate in die praktyk te vertolk. In hierdie toetsreeds is dus probeer om die sake so natuurlik moontlik te laat verloop en sonder om die prosesse aan te jaag. Uitdroging het dan ook die laboratorium geskied waar die RH beheer is tot  $(55 \pm 1)\%$  en die temperatuur tot  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ .

Afgesien van die onderwater behandeling van 7, 28 en ongeveer 100 dae, is die daaropvolgende benatting en uitdroging op 'n byna willekeurige basis geskied en geen definitiewe patroon is gevolg nie. In elke geval is gepoog om stabilisasie te bereik hetsy onder water bewaar of uitgedroog. Soos sake verloop het, lyk dit in elke geval nie of enige ander patroon enige wesentliche verskil sou gemaak het nie. Die lang wagtyd, veral tussen 300 en 700 dae, wil nie voorgee dat die stafies nie baie vroeër as 700 dae reeds gestabiliseer het nie. Die gedagte was hier hoofsaaklik om te sien wat gebeur na 'n langdurige uitdroging en tot watter mate die krimp kan herstel onder nat toestande. Na 700 dae moet eerder gekyk word na die krimp-swel-krimp wyde.

Die menge wat gebruik is word gegee in tabel 7.2. In elke geval is die mortel, dit wil sê (sand plus sement) per absolute volumes konstant gehou sowel as die 4,8 mm klipinhoud. Die absolute volume mortel was ongeveer gelyk

aan die absolute volume klip of growwe toeslag. Dit behoort basies min of meer dieselfde werkbaarhede teen dieselfde waterinhoude te gee.

Meng Nr.	w/s	water (kg)	sement (kg)	Superfyn Duinsand (kg)	Gewone growwe sand (kg)	4,8 mm klip (kg)
A	0,50	0,46	0,93	2,07		3,0
B	0,60	0,46	0,77	2,19		3,0
C	0,70	0,46	0,66	2,28		3,0
KA	0,50	0,46	0,93		2,07	3,0
KB	0,60	0,46	0,77		2,19	3,0
KC	0,70	0,46	0,66		2,28	3,0

Tabel 7.2: Mortelmengte gebruik vir die toetse. Menge KA, KB en KC moet as kontrole mengte beskou word.

Die gewone growwe sand (FM = 1,88) wat as kontrole gebruik is, is effens fyner as die sand (FM = 2,82) wat in die verpakkingstoetse gebruik is. As die heel growwe sand gebruik sou word, sou die verpakingsvermoë tussen die duinsand en die 4,8 mm klip en die growwe sand en die 4,8 mm klip te veel verskil het en kon dit 'n groter invloed op die toetse gehad het. Menge van 50% mortel teenoor 50% growwe toeslag se verpakingsvermoëns vir beide duinsand as die growwe sand wat gebruik is, was byna dieselfde.

Om enigsins 'n werkbare mengte te kry, was dit nodig om 4,8 mm klip saam met die superfyn duinsand te gebruik. Derhalwe was dit ook nodig om 4,8 mm klip te gebruik vir die kontrole sandmengte.

Hoewel toetse met w/s van 0,55; 0,65 en 0,80 ook gedoen is, word slegs die resultate van w/s 0,50; 0,60 en 0,70 gegee. Soortgelyke patrone is in die ander gevalle gevind.

### 7.2.3 Kommentaar oor die kurwes:

Aangesien die toetse oor 'n lang tydperk geskied het, sou 'n mens by voorkeur die horisontale tyd ordinaat in dae op 'n logskaal wou doen. Die nadeel hiervan is dat swel en krimp moontlik in 'n verkeerde perspektief-begrip kon beland het. Derhalwe is besluit om die horisontale ordinaat se skaal te wissel tussen 0 - 50 dae, 50 - 100 dae en 100 - 1 000 dae. Dit sou dan vir elke geval meer ruimte laat vir die stip van metings en sou ook meer perspektief gee van tyd teenoor vervorming.

Elke lesing wat gestip is, was die gemiddelde vervorming van 3 stafies wat in dieselfde staalvormstel vir 3 stafies gegiet is. In die middel van die koppe van die stafies is kort koper pennetjies in die stafies vasgegiet om as meetpunte te dien. Vervormings is tot 1/300 mm bepaal.

#### (a) Kurwes met mortel van w/s verhouding = 0,50:

Figure M.1 en M.2 is hier ter sake. Behalwe vir die 7 dae onderwater nabehandelde duinsand meng, lyk dit nie of daar enige wesenlike verskil in krimp gedrag is tussen die duinsand en die gewone sand kontrole-menge nie. In sekere gevalle was die krimp van superfyn duinsand meng selfs minder as dié van die kontrole meng.

Dit is egter opvallend dat die normale sand en duinsand meng in die omgewing van 28 dae feitlik gestabiliseer is en selfs 'n afwaartse of krimp neiging toon. In figuur M.1, toon die kontrolemeng dat krimp alreeds begin het, terwyl die monsters nog onder water was. Dit is effens onverwags. Moontlik was die verdigting van die monsters nie so goed as in die duinsand meng nie. Dieselfde neiging



kom voor in figure M.5 en M.6, waar die hoë w/s verhoudings porositeit sal aanmoedig.

Die duinsand menge toon egter dat 'n feitlik gestabiliseerde swelling gehandhaaf word solank die mortel onder water is. Stabilisasie op 28 dae toon ook dat hidrasie feitlik maar nog nie volkome voltooi is nie en dat die sement moeite ondervind om volkome te hidreer weens die stadige diffusie van water deur die diggegroeide gel of hidraat.

'n Opvallende eienskap wat duidelik toon dat hidrasie 'n groot invloed het op krimp, is dat die aanvanklike krimp van die mortel wat vir ongeveer 100 dae onder water gehou is, baie groot is en in nog 'n verdere 100 dae so te sê voltooi is. Dit beteken dat die mortel of beton op hierdie tydstip (100 dae) feitlik volle sterkte bereik het en dat so 'n skielike krimp na 'n verdere 100 dae uitdroging, die beton onder geweldige spanning kan plaas sodat kraakvorming op groot skaal verwag kan word. Selfs die 28 dae onderwater mortel krimp byna netsoveel op 200 dae, maar geleideliker.

As hierdie waardes nou vergelyk word met die geen nabehandeling monsters, word 'n geleidelike krimp vir die geen behandeling monsters verkry reg van die begin af wanneer die beton nog lae sterktes besit. Hierdie vroeë droë beton wat blykbaar stabiliseer op 20 dae, het dus 'n veel groter vermoë om te kruip en spannings te verlig as die beton wat reeds op volle sterkte is en nou meer as 3 maal soveel moet krimp oor 'n kort tydperk.

Nabehandeling van die vroeë droë monsters gee 'n redelike krimpherstel, maar die bestek is nie so

groot as die herstel van die goed nabehandelde monsters nie. Dit moet verwag word omdat hidrasie van die sement blykbaar op 20 dae gestaak het sodat die volume herstel van die gedeelte van die hidraat wat gevorm is ook kleiner moet wees. Die nabehandeling verskaf nou weer water en hidrasie wat reeds gestaak het kon nou weer hervat soos water beskikbaar bly. 'n Swelaksie na versadiging wat ongeveer 30 dae duur, bevat ook 'n krimpaksie, want sodra die grootste swelling bereik is, begin die kurwes onmiddellik weer daal. 'n Soortgelyke verskynsel is ook deur Helmuth<sup>(41)</sup> waargeneem.

Krimping wat nou volg na benatting is nou ook heelwat groter as die geval voor benatting en die kurwe daal tot laer as die vorige gestabiliseerde waarde. Verdere hidrasie het dus krimping weer verhoog, maar nie tot die mate as dié wat tevore goed nabehandel is nie. Verdere benatting dui weer op 'n voortsetting van hidrasie, want as die monsters weer gedroog word, krimp hulle verder en bereik min of meer dieselfde krimping na 700 - 800 dae as die goed nabehandelde menge.

Nabehandeling op die laat stadium van 800 dae, dui op 'n verdere geringe krimping na 'n verdere 100 dae uitdroging wat weer daarop dui dat die sement nog nie volkome hidreer het nie. Die totale krimping geskied nou oor 'n lang tydperk wat makliker absorbeer kan word deur spanningsverligting weens kruip. Die krimp-sprong by eerste uitdroging is ook nie so groot nie.

Dit is ook opvallend dat die krimp-swel-krimp wydte na sê 800 dae min of meer dieselfde is vir die vroeë nat as vir die vroeë droë beton. Die groot gevaar lê

dus by die vroeë swel-krimp siklusse en veral by die beton wat aanvanklik goed nat nabehandeling is.

Na aanleiding hiervan, blyk die beste behandeling te wees met die oog op krimp en verlaging van krimpspannings, dat gepoog moet word om die water in die beton te behou, vroeë verdamping te verhoed en die beton toe te laat om na eie vermoë so vroeg moontlik self uit te droog. Onderwater nabehandeling en toevoeging van water sal dus nie totale krimp verhoed nie, maar het die vermoë om baie groot vervormingsspannings op te wek oor kort tydperke op stadia wanneer die beton reeds sterk is en waarskynlik nie sulke skielike groot vervormings sal kan hanteer deur te kruip nie.

Die 7 dae nabehandeling toon dat die sement in die mortel goed op pad is na redelike volledige hidrasie, maar nog nie dieselfde hidrasievlak bereik het as die 28 dae en meer, onderwater beton nie. Die groter krimpvermoë as die vroeë droë mortel moet dus verwag word. Wat krimp betref, werk die 7 dae nat nabehandeling groter krimp in die hand teenoor krimp van die vroeë droë toestande.

Benatting gee 'n swelling oor 'n baie korter tydperk as krimp tydens uitdroging. Dit is dus te verstane dat as beton onderbroke nabehandeling word, swel-en-krimp spanningssiklusse ontwikkel wat vermoeiing in die hand werk en gevolglik kraakvorming aanmoedig. Dit verklaar ook die eienskap van beton om makliker krimpkrake te ontwikkel wanneer nabehandeling bestaan uit nat en droë siklusse.

Beton moet dus of gelaat word om uit te droog of dit moet konstant nabehandeling word met die potensiële



nagevolge van krimpings. Miskien is dit die geheim waarom teenverdampingsmiddels wat op beton aangewend word, neig om vroeë kraakvorming te beperk deurdat die beton geleideliker krimp en toegelaat word om te kruip op 'n vroeë stadium.

(b) Kurwes met mortel van w/s verhouding = 0,60:

Figure M.3 en M.4 is nou ter sake.

Die kontrole menge met gewone growwe sand, vaar nou effens beter as die duinsand menge en veral by die aanvanklike swakker nabehandeling soos in fig. M.4 getoon. Goeie nat nabehandeling van 28 dae en meer toon dat die kontrolemenge nie juis beter vaar nie en dat daar geen beduidende verskil in krimpings is nie.

Die geweldige krimpsprong tot 200 dae vir die goed nabehandelde menge na uitdroging kan nie uit die oog verloor word nie. Dit lyk dus of beton met w/s verhoudings groter as 0,50 groter krimpspronge kan ondervind as ryker menge met w/s = 0,50 en laer. Tot 'n mate moet dit verwag word, omdat die oopgesperde kwesbare hidraat struktuur wat onder water gevorm het, nou tot 'n groter mate kan ineensstort as die digter struktuur van die ryker menge.

Dit is opvallend dat die grootste krimp-vervorming weer in die omgewing van 200 dae voorkom. Dit lyk dus of die grootste krimpings verwag kan word oor die eerste 200 dae mits die sement kans kan kry om te hidreer. Herbenatting en uitdroging hierna beïnvloed nie beduidend die totale krimpvermoë nie. Die swel-en-krimpydtes word egter kleiner op groter ouderdomme soos verwag kan word soos tevore verduidelik.

As 'n mens weer kyk na die aanvanklike droë menge, word dieselfde patroon gevolg as vir die menge met  $w/s = 0,50$ . Na ongeveer 21 dae, stabiliseer die mortelstafies en herbenatting gee weer 'n groter totale krimpings as voorheen. Die effens beter prestasie van die kontrole menge is egter nie beduidend groot nie en moet as normaal beskou word. Beter verdigting en minder interne bloeiing kan hiervoor verantwoordelik wees.

Die 7 dae nabehandelde menge gee egter groot verskille tussen die duinsand en kontrole menge. Die langdurige krimpings van die duinsand meng wat 7 dae onder water was, kan miskien gewyt word aan groter interne bloeiing sodat meer water oor 'n langer tydperk beskikbaar was vir hidrasie. Hierdie vermoede word bevestig deur die feit dat krimpings nie tot so 'n groot mate toegeneem het na eerste benatting as in die ander gevalle nie. Die 7 dae nat kurwe wat krimpings oor die eerste 200 dae betref, stem ook beter ooreen met die 28 en 100 dae nat kurwes.

Weereens word die gevaar van onderbroke of aanvanklike nat nabehandeling duidelik uitgespel. Aanvanklike nat nabehandeling kan nou selfs 'n groter krimpingsprong verskaf as vir die  $w/s = 0,50$  geval.

(c) Kurwes met mortel van  $w/s$  verhoudings = 0,70:

Figure M.5 en M.6 is ter sake.

Dieselfde patroon as vir die  $w/s = 0,60$  geval word gevolg. Die groter beskikbaarheid van water naby die sement korrels weens die groter  $w/s$  verhouding en verwagte groter porositeit, laat die sement vinniger

hidreer. Daarom is dit nie vreemd dat die mortelstafies begin krimp terwyl dit nog onder water is nie; sommige net vroeër as ander. Die eerste krimpsprong bly egter geweldig groot as die onderwater nabehandelde mortel uitdroog.

Die kontrole menge vaar nou nog 'n bietjie beter as die duinsand menge vir die geen en 7 dae nabehandeling as vir die  $w/s = 0,60$  gevalle terwyl daar geen beduidende verskil vir uiteindelijke krimp by die duinsand menge is as die monsters aanvanklik goed nabehandel is of nie. Die kontrole menge KC.3 en KC.4 wat deurgaans beter vertoon, kan weer 'n geval wees van beter verpakking en minder interne bloei wat ongelukkig nie kontroleer kon word nie. Daar moet dus verwag word dat skraler menge met  $w/s = 0,60$  en hoër wat met superfyn duinsand gemaak word meer sal krimp as menge met gewone growwe sand gemaak. Die groter krimpvermoë baseer op krimp by kontrole menge, kan moontlik so hoog as 80% wees.

Die 7 dae onderwater nabehandeling toon weer 'n groter aanvanklike krimp as die mortel wat geen nabehandeling ontvang het nie, wat weer beteken dat die sement minstens 'n goeie begin wat hidrasie betref, gehad het.

Die waarskynlik meer poreuse duinsand menge wat moontlik meer intern gebloei het en gevolglik meer water beskikbaar gehad het, toon ook dat maksimum krimp reeds vroeg bereik word; na ongeveer 200 dae.

### 7.3 Algemene bevindings:

Soortgelyke toetse met ander  $w/s$  verhoudings openbaar



presies dieselfde patrone as diè beskryf in figure M.1 tot M.6. Die volgende gevolgtrekkings kan nou gemaak word.

- (1) Dit is moeilik en 'n langsame proses om toetsmonsters selfs van hierdie grootte van 38 x 38 x 160 mm, te laat uitdroog onder normale laboratorium toestande. Groter monsters en beton sal dus veel langer neem om uit te droog. Hierdie bevinding word ook bevestig deur toetse wat deur die N.B.N.I. in Rosebank, Kaapstad gedoen is en waar gevind is dat dit jare neem om 100 mm dik betonplate finaal te laat uitdroog. Volgens Putteril<sup>(43)</sup> en Holmes<sup>(48)</sup> begin uitdroging min of meer stabiliseer na 4 - 5 jaar, maar was nog nie voltooi na die 6 jaar wat die toetse reeds loop nie.
- (2) Benatting geskied heelwat vinniger en versadiging kan na 20 - 30 dae bereik word afhangende van hoe dig die beton is. Lae w/s verhoudings wat digter beton veronderstel, neem heelwat langer om versadig te raak as beton met hoër w/s verhoudings.
- (3) Algehele swelling van normale beton onder water, is beperk en mag reeds na 21 dae stabiliseer. Ryker mengte met w/s verhoudings kleiner as 0,50 en wat nie getoets is nie, sal, volgens teorie, moontlik langer neem om te swel, maar soos tevore verduidelik kan 'n langsame onbeperkte swelling nie voorsien word nie. Skraal mengte met hoër w/s verhoudings van 0,60 en hoër, mag selfs begin krimp voor 28 dae wanneer die monsters onder water behandel word.
- (4) Vroeë geringe krimp as gevolg van onvolledige hidrasie kan hervat word as die beton of mortel weer natgemaak word en dan weer toegelaat word om uit te droog. In die gevalle van onvolledige hidrasie, sal die beton of mortel na herbenatting nou meer krimp as

voorheen. Uitgestelde hidrasie gee dus ook uitgestelde totale krimp of krimpvermoë.

- (5) Aanvanklike nat nabehandeling kan 'n groot krimpsprong, wat selfs as 'n krimpskok beskou kan word, aan die beton besorg; baie groter as in die geval van swak of onvoldoende nabehandeling. Die struktuur kan onder veel groter krimpspannings kom na goeie nat nabehandeling as wat die geval sou wees na onvoldoende swak aanvanklike nabehandeling wanneer die krimpspronge nie so groot is nie en die swakker beton 'n beter kans het om te kruip en die spannings te verlig.
- (6) Vir laer w/s verhoudings van  $w/s = 0,50$  en laer, lyk dit nie of duinsand enige wesenlike groter krimpneigings het as vir gewone menge nie. Wanneer die w/s verhouding groter word as  $0,60$  wil dit tog lyk of die superfyn sandmenge neig tot heelwat groter krimp. Die groter krimpneiging neem ook toe met toename in w/s verhouding.
- (7) Indien beton onderweg weer versadig kan word met water of weer voldoende hidrasiewater beskikbaar kry, sal die uiteindelijke krimp min of meer dieselfde wees, ongeag die aanvanklike nabehandeling. Die aanvanklike krimpspronge kan net baie groter wees as die beton of mortel eers vir 'n lang ruk onder water nabehandeling is.
- (8) Swel-en-krimp aksies veroorsaak wisselende vervormingsspannings in die beton wat vermoeiing en gevolglik vroeë kraakvorming in die hand werk, veral met vroeë afgebroke en afwissellende nat en droë nabehandeling. Afgebroke of onderbroke nabehandeling is dus minder aanvaarbaar as selfs geen nabehandeling wat krimp en krimpspannings betref.

- (9) Mits die sement voldoende geleentheid kry om genoeg water te bekom, al is dit met rukke en stote vir gevorderde hidrasie, en uitdroging dan geskied, wil dit voorkom dat die maksimum krimpvermoë bereik word na ongeveer 200 dae. Dit lyk dus of die eerste 200 dae van deurslaggewende belang is en dat onder gunstige omstandighede maksimum krimpings reeds binne hierdie tydperk kan voorkom.

#### 7.4 Gevolgtrekkings en riglyne:

Na aanleiding van bostaande, kan die volgende algemene gevolgtrekkings gemaak en riglyne neergelê word.

- (1) Vroeë geleidelike uitdroging van beton is voordeliger wat krimpspannings betref as vroeë nat nabehandeling. Vroeë uitdroging benadeel die sterkte ontwikkeling van die beton weens onvolledige hidrasie en vir volle vroeë sterkte benutting is goeie nabehandeling nodig. Soos reeds getoon, sal beton met 'n  $w/s = 0,45$  voldoende water bevat vir volledige hidrasie van die sement indien geen water verlore raak nie. Die beste prosedure is dus om water- of vogverlies te voorkom en die beton toe te laat om op sy eie geleidelik uit te droog. Waterbyvoeging versnel wel hidrasie, maar vergroot die potensiële krimpsprong as die beton dan skielik sou uitdroog en word dus nie aanbeveel vir goeie krimpbeheer nie. Meeste betonsoorte in algemene gebruik, se  $w/s$  verhoudings is groter as 0,45 en as die water in daardie beton solank moontlik in die beton vasgehou word, behoort dit voldoende te wees vir nabehandeling.

Eksterne bloeiing kan egter die effektiewe  $w/s$  aansienlik verlaag sodat onvolledige hidrasie volg en gevolglik lae krimpings verwag kan word. Interne



bloeiing, groter porositeit van die beton of water wat vasgehou word in die beton, sal hidrasie verder laat vorder en gevolglik groter krimp in die hand werk. Hier is dus nog 'n rede waarom die finale hoeveelheid water in die beton net na verdigting so 'n belangrike invloed op krimp het en so laag as moontlik gehou moet word.

- (2) Dit lyk of beton wat uitdroog en krimp na voldoende tyd, reeds op 200 dae maksimum krimp bereik. Hierdie syfer van 200 dae gee nou 'n aanduiding van hoe lank gewag moet word om die ergste nagevolge van krimp te verwag.
- (3) Hoewel verwag moet word dat uiteindelijke krimp na 'n baie lang tyd groter kan wees vir beton met w/s verhoudings kleiner as 0,50 as vir beton met groter w/s verhoudings bloot op grond van die hoeveelheid pasta wat kan krimp, wil dit tog voorkom dat kleiner krimp verwag kan word met laer w/s verhoudings. Die aanvanklike krimpsprong van beton met lae w/s verhoudings, is baie kleiner as dié van beton met groter w/s verhoudings. Indien die lae w/s verhouding beton dan tog uiteindelik meer sou krimp, sal krimp oor 'n baie lang tyd geskied, geleideliker van aard wees en beton voldoende tyd gee om van die ergste spannings weens kruip te verlig. Ryker mengte bevat meer sement en dus meer gel wat weer meer kan kruip.

Hoë w/s verhoudings werk porositeit in die hand, terwyl lae w/s verhoudings porositeit teëwerk. Lae porositeit sal diffusie van water in beton teëwerk sodat krimp as gevolg van beweging van water ook aan bande gelê word. Krimp sal ook nie so vinnig kan geskied soos in poreuser beton nie. Kort termyn benatting en uitdroging sal dus ook nie sulke groot swel-en-

krimpwydtes veroorsaak as in die geval van hoër w/s verhoudings nie. Lang tye van benatting en uitdroging kan egter die prentjie omkeer sodat wel groter swel-en-krimpwydtes verkry kan word met lae w/s verhouding beton as met groter w/s verhouding beton.

In sy geheel gesien, lyk dit tog of laer w/s verhoudings beter is met laer krimpvermoëns. In die geval van superfyn duinsand is die voordele beslis bewys met sy laer krimpwaardes en met sy onbeduidende krimpverskille teenoor mortel met gewone sand.

- (4) Mortels waarin net superfyn duinsand gebruik is, sal meer krimp as normale sandmortels en groterkrimpings kan verwag word soos die w/s verhoudings styg. Dit is daarom nie raadsaam om net superfyn duinsand te gebruik as lae krimp benodig word nie. Aan die anderkant is dit ook so dat as goeie verpakking verkry moet word, word die superfyn sandinhoud ook beperk en kan vroeë korrelstuiting van die growwe toeslag krimp beperk, sodat die eindresultaat vir beton wat krimp betref, nie onaanvaarbaar sal wees nie.

Oor die algemeen geld dit ook dat hoe fyner die sand is, hoe minder fyn toeslag teenoor growwe toeslag in 'n meng gebruik word. Groter krimpwaardes van mortels met fyn sand sal dus nie noodwendig groter krimpwaardes aan die beton oordra nie, maar weens die groter krimpvermoë van die mortel sal veel meer interne krimpkrakies ontwikkel wat die beton se sterkte effens kan laat afneem. Hier is dus nog 'n rede waarom beton met fyn sand gemaak, neig om effens laer sterktes te gee vir dieselfde w/s verhoudings as beton wat met growwer sand gemaak is.

## - HOOFSTUK 8 -

### Samevatting en gevolgtrekkings

#### 8.0 Samevattend:

Lae gehalte sand soos duinsand het sekere gebreke en tekortkominge wat oorkom moet word en die ekonomiese gebruik daarvan sal afhang van hoe goedkoop dit verkry kan word en vir watter doel dit gebruik moet word. Die doeltreffende gebruik sal ook afhang van die basiese kennis en begrip van mengontwerp van die gebruiker daarvan en van goeie gehalte beheer weens die sensitiwiteit van dié sandsoorte met betrekking tot menghoeveelhede en waterbehoefte.

Hoewel die laaste woord sekerlik nog nie gesprek is oor die gebruike en toepassings van lae gehalte sand en duinsand nie, kan die volgende gevolgtrekkings nou gemaak word en kan riglyne vir die gebruik daarvan nou neergelê word.

Hoewel hoofsaaklik gekonsentreer is op superfyn duinsand, die moeilikste hanteerbare deel van alle duinsande, is daar tog genoeg agtergrond en tegnieke ontwikkel sodat alle duinsande, fyn en grof, nou hanteer kan word. 'n Voorbeeld van die hantering van 'n growwe seesand saam met superfyn sand, word in kurwes K.15 - K.20 gegee.

#### 8.1 Voorkoms:

Hoewel baie belowende sand by Macassar gevind is, is die bron nie baie groot nie. Ander beskikbare sand in die Kaapse Skiereiland gebied is hoofsaaklik dié wat 'n oorlas is en as superfyn sand geklassifiseer kan word.



Die Kaapse Vlakte gebied het tans nog 'n groot potensiaal. Nie alle sande in die Kaapse Valkte is ewe geskik vir tradisionele boudoeleindes nie en 'n groot deel is van swakker gehalte, wat nie op sigself net so sonder hulp gebruik kan word nie. Soos die bronne van die beter sandsoorte uitgeput raak of nie meer beskikbaar raak nie weens toenemende besetting van die grond vir behuising, sal meer en meer van die swakker sandsoorte benut moet word. Die bron is dus nie onuitputlik nie.

Die kussande langs die Weskus Noord van Melkbosstrand is belowend genoeg om verder land in in die gebied te prospekteer of om selfs kussand bronne te ontwikkel. Groot hoeveelhede nuttelose waaissand is in die omgewing van Atlantis beskikbaar. Ongelukkig val baie van hierdie waaissand in die superfyn sandgebied en sal dit spesiale hantering en aanpassing verg om hierdie bron op sy eie te ontwikkel.

## 8.2 Kenmerkende eienskappe van kussande in die Weskaap gebied:

Die sandkorrels is gewoonlik goed gepoleer en geslyp en neig tot ronde korrels. 'n Uitstaande kenmerk is ook dat die sande òf 'n groot tekort òf 'n groot oormaat korrels het wat deur die 0,150 mm sif gaan. 'n Tekort kan maklik aangevul word deur superfyn sand, maar 'n oormaat wat neerkom op superfyn sand moet spesiaal hanteer word. Selfs al kan superfyn sand tekorte van 0,150 mm korrelgroottes aanvul, is dit in die meeste gevalle ook so dat die grootste korrelgroottes kleiner of gelyk aan 0,600 mm is sodat selfs sulke aangepaste sande nog steeds spesiale hantering vereis.

Die gebrek of oormaat 0,150 mm sand en die wyse van afsetting hoofsaaklik deur wind en seestrome, veroorsaak dat sande kort graderingsbestekke het en dat feitlik eenvormige groottes korrels verkry word. Hierdie sande se werkbaarheid

is dus laag en word deur bouers as "dood" beskryf, wat nogal baie gepas is. Die eenvormige korrelgroottes veroorsaak swak verpakking en groot porositeit sodat water gemaklik daardeur vloei en oplosbare soute verwyder. Die Chloriede inhoude is derhalwe baie laag en goed binne die veilige bestekke gevra in die spesifikasies. In onbegroeide duine is die humus inhoud ook onbenullig klein of totaal afwesig sodat duinsande as besonder skoon beskou kan word.

Skulp inhoude as die  $\text{Ca CO}_3$  inhoude getoets en bedoel word, is soms redelik hoog. Die harde gepoleerde skulpkorrels kan nie as 'n belemmerende faktor beskou word nie omdat slegs die hardste skulpdele kan oorleef in die intensiewe maal en slypproses van die see en wind. As hierdie gepoleerde skulpdele wat soms moeilik te onderskei is van die ander minerale, verwerp moet word, moet alle sand afkomstig van kalksteen ook verwerp word. Die beperking op skulpdele in die spesifikasies word na skrywer se oorwoë mening slegs bedoel vir groot plat gebreekte skulpe en hiervan is daar nie sprake in duinsande en selfs kussande nie. Groter skulpe en dele is in elke geval maklik onderskeibaar en verwyderbaar uit sand.

### 8.3 Meng ontwerpe:

#### 8.3.1 Verpakking:

Die tegniek om beste verpakking te bepaal en soos beskrywe in Hoofstuk 4 en in Bylae J, open nou 'n veld waarvolgens mengontwerpe sinvoller kan geskied en die lukraak metodes kan vervang. Hieruit blyk die volgende:

- (a) 'n Fyner aggregraat, 4,8 mm of 6 mm, is onontbeerlik om goeie betonmenge met duinsande te maak. Die fyn aggregraat (4,8 of 6 mm) moet òf saam met die growwe toeslag gebruik word sodat goeie gradering en



verpakking van die growwe toeslag verkry kan word òf kan by die fyn toeslag (duinsand of superfyn sand) gebruik word om die graderingsprong tussen fyn en growwe toeslag te vernou na 3 of minder sifgroottes. Goeie verpakking kan aldus verkry word wat baie goed vergelyk met diè van betonmengen met gewone growwe sand.

- (b) Verpakking is besonder gevoelig vir variasies in fyn toeslag wanneer fyn sand gebruik word, veel meer as in die geval van growwe sand. Relatief minder fyn toeslag word benodig vir beste verpakking wanneer fyn sand gebruik word in vergelyking met hoeveelhede benodig wanneer growwe sand ter sprake kom.
- (c) Groot verpakkingsvoordele word behaal wanneer die gemiddelde korrelgroottes tussen growwe en fyn toeslag grootliks verskil. Die gebruik van enkelgrootte growwe toeslag kan dus soos dikwels gevind, goeie resultate lewer, mits die fyn toeslag goed gegradeer is. Die growwe toeslag dien dan basies net as vuller of verdunner van die fyn toeslag.
- (d) Fyn toeslag verpak beter as dit nat is as wanneer dit droog is, terwyl growwe toeslag beter droog as nat verpak. Sodra sement bygevoeg word, is verpakking van die droë meng weer beter as diè van die nat meng. Nat sement neig om korrels aanmekaar te laat kleef, hul mobiliteit te verlaag en effe swakker verpakking te veroorsaak. In die omgewing van beste verpakking egter is die verskil baie klein en kan die meng nat selfs beter verpak as droog. In die nat toestand is die hoeveelheid sement baie krities en 'n klein te kort of oormaat kan verpakking benadeel.
- (e) Volgens die verpakkingstoetse, kan goeie beton gemaak



word selfs met superfyn duinsand, mits die regte byvoegings gemaak word met die oog op beste verpakking. Die groot klem moet op verpakking val.

### 8.3.2 Gradering:

Noudat beste verpakking sinvol verkry kan word, kan daar weer gekyk word na graderingskurwes en basiese graderingskurwes. 'n Norm waarvolgens gradering nou beoordeel kan word is gevind en basiese graderingskurwes is beskryf in hoofstuk 5, paragrawe 5.5 a(1) - 5.5 a(3). Wanneer die effektiewe grootte van die grootste korrelgroottes van die growwe of fyn toeslag bekend is, kan eenvoudige basiese kurwes geteken word. (Sien fig. K.3, K.4, K.17, K.19, K.21 en K.22.) Mengverhoudings van fyn tot growwe toeslag kan dan bepaal word deur te sorg dat die finale graderingskurwe van die meng balanseer om die basiese kurwe.

Indien slegs fyn toeslag ondersoek word, moet 'n hoeveelheid sement (15%) by die fyn toeslag gereken word soos beskryf in Hoofstuk 5.

Dit is ook belangrik dat die basiese graderingskurwes met oorleg toegepas word. Te groot spronge moet vermy word en spronge van hoogstens 4, maar verkieslik hoogstens 3 sifgroottes, moet toegelaat word.

Dit is weereens duidelik dat die hoeveelheid fyn toeslag uiters krities is. Dit beteken ook dat akkurate metings vereis word wanneer beton met baie fyn sand gemaak word en dat goeie gehaltebeheer noodsaaklik word. Voorbeelde van gebalanseerde graderings teenoor beste verpakking kan gesien word in figure K.11, K.12, K.15, K.16, K.17, K.18, K.19 en K.20. Basiese graderingskurwes kan nou 'n kortpad verskaf na 'n besluit op die beste mengverhouding van fyn

tot growwe toeslag en die moeisame verpakingskurwe bepalings vervang.

Hier is nou ten minste 'n meer wetenskaplike metode om meng hoeveelhede was te stel teenoor die ou lukraak metode wanneer te doen gekry word met ongewone sande. Die bestaande empiriese formules werk wel goed vir normale sande wat redelike lang graderingsbestekke het, maar werk nie wanneer abnormale en kort graderings betrokke raak nie.

Die sement se invloed op goeie verpakking is soos reeds getoon, net effektief in 'n beperkte gebied. Alles dui daarop dat beperkings op die hoeveelheid sement sinvol is en dat hoër sterkte met goeie verpakking met lae sement-inhoude moontlik is. Die sement en w/s verhouding bepaal hoofsaaklik sterkte sodat beste verpakking met minimum sement soms opgeoffer moet word ten gunste van sterkte.

Alles dui daarop dat geeneen van die kussande wat ondersoek is op sy eie en sonder hulp van 'n ander sand of fyn aggregraat sondermeer gebruik kan word vir goeie beton nie. Alle ander duinsande wat skrywer teëgekom het, openbaar soortgelyke eienskappe en benodig hulp uit ander bronne. As die growwer kussande teen die Weskus Noord van Melkbos-strand gebruik moet word, sal superfyn sand soos byvoorbeeld dié by Atlantis bygevoeg moet word. Daarom is dit sinvol dat na sandbronne weg van die kus af gesoek moet word waar die natuur moontlik fyn sand weer by die growwer sand gevoeg het.

### 8.3.3 Betonmenge:

Die betonmengontwerp prosedure wat gevolg kan word, is beskryf in paragraaf 5.6 en in kort kom dit daarop neer dat:

- (a) Die beste verhouding fyn tot growwe toeslag eers gevind word wat met behulp van die basiese graderingskurwes kan geskied.
- (b) Die watervereiste wat gewoonlik 'n bietjie hoër is as dié vir normale goeie growwer sande, geskat word.
- (c) Die sementinhoud bepaal word met behulp van die watervereiste en die s/w of w/s verhouding benodig vir die benodigde sterkte.
- (d) 'n Proefmeng gemaak, die presiese watervereiste vasgestel en die meng daarvolgens gekorrigeer word.

In die gevalle waar superfyn duinsand en selfs ander duinsande gebruik word met groot spronge in die finale saamgestelde graderingskurwes, moet verwag word dat die menige uiterlik miskien vreemd mag lyk. Hul werkbaarheid sal waarskynlik laag wees terwyl hulle ook 'n droë voorkoms het. Daarom is dit belangrik om die verdigbaarheids aspek te beklemtoon en menige liewers te beoordeel op grond van verdigbaarheid eerder as op grond van werkbaarheid. Die droë voorkoms het darem dié voordeel dat beton minder tot segregasie neig tydens plasing, omdat die fyn toeslag en sement nou aan die groter korrels vaskleef.

Die effense groter watervereiste moedig veral eksterne bloeiing tydens verdigting aan. Daarom is dit belangrik om liewers 'n bietjie minder water te gebruik al lyk die beton droog. Eksterne bloeiing op die verdigtingstadium is nie nadelig nie en veral as die bloeiwater nie sement saamsleep nie. 'n Mens moet jou dus versoen met die droë voorkoms en die bloei tydens verdigting.

Die groot spesifieke oppervlaktes van die fyn sandkorrels



wat met water gesmeer moet word om enigsins werkbaarheid en verdigbaarheid te verkry veroorsaak dat effens meer water gebruik moet word as by normale beton. Die groter hoeveelheid water betrokke, verhoog die porositeit van die vaste materiaal relatief tot mekaar as gevolg van die waterlagies om die korrels. As die materiaal geneig is tot goeie verpakking en lae porositeit soos meestal die geval is, kan die water in die meng maklik "los" raak en uitbeweeg onder druk. Dit beteken ook dat pompbaarheid van die beton tot 'n laagtepunt kan daal en dat 'n meng besonder goed aangepas moet wees as dit gepomp moet word. Pompbaarheid moet dus nie 'n hoë prioriteit wees nie omdat baie mense waarskynlik nie sal pomp nie.

Benewens die gevoeligheid van mense ten opsigte van hoeveelhede fyn sand, is dit ook besonder gevoelig ten opsigte van hoeveelhede water wat bygevoeg moet word. 'n Klein bietjie meer water kan die meng te sag maak terwyl 'n bietjie te min water dit te droog kan maak. In die mense wat gemaak is, was dit duidelik dat water hoeveelhede baie krities kan wees. Die droë voorkoms van die mense maak dit uiters moeilik om met die oog te oordeel of die regte hoeveelheid water bygevoeg is of nie. Dit beteken dat water-afmeting ook goed gekontroleer moet word.

Die droë voorkoms van die beton vereis ook dat verdigting baie effektief moet wees en dat trilbewerking waarskynlik noodsaaklik is. Handbewerking kan moeilik die mobiliteit aan die meng verskaf wat benodig word by goeie verdigting. Gelukkig is hierdie beton nie so geneig tot segregasie nie en vind korrelstuiting gewoonlik vroeg plaas. Indien enigsins moontlik, moet herverdigting of herbewerking sterk aangemoedig word, natuurlik met die nodige voorsorg en gesonde oordeel.

Alles inaggenome is dit moontlik om goeie beton te maak met alle duinsande, mits die regte metodes en tegnieke gebruik word. Dit sluit in dat hulpmiddels soos sand uit ander bronne, waterspaarmiddels, plastiseerders en belugting moontlik nodig sal wees. Wanneer menige met goeie verpakking verkry is, kan waterspaarmiddels en plastiseerders met groot vrug gebruik word om die sementinhoud af te bring en verpakking verder te verbeter.

#### 8.3.4 Bloei probleme:

Dit kan verwag word dat alle beton met fyn sand gemaak, sal bloei, ekstern sowel as intern. Soos getoon in hoofstuk 6 kan eksterne bloeiing selfs aangemoedig word sonder veel nadelige gevolge. Die effens groter verwagte interne bloeiing of vermoë om water vas te hou, sal nie alleen die krimpvermoë in sekere gevalle verhoog nie, maar kan ook 'n effense sterkte verlaging weens groter porositeit veroorsaak. Gewoonlik is dit net dié gevalle waar menige self swak verpak. Sulke verlagings is egter nie baie groot nie en wissel tussen 0 en 5% na aanleiding van menige wat met ander fyn sande soos byvoorbeeld Kalahari waaisand, gedoen is. Hierdie gegewens is nog nie gepubliseer nie.

As die watervereiste effens hoër is as gewoon, sal meer sement bygevoeg moet word om die benodigde sterkte en s/w of w/s verhoudings te handhaaf. Die ekstra sement meer as die kritiese hoeveelhede benodig vir beste verpakking en veral vir menige wat reeds nie te goed verpak nie, sal natuurlik ook verpakking benadeel, wat 'n verdere bydrae kan wees tot verlaging in sterkte.

In figure L.1, L.2, L.3 en L.4, is getoon dat die hoeveelheid water wat vasgehou word in 'n meng hoofsaaklik deur adsorpsie (kleefwater) verband hou met verpakking en



dat die minste kleefwater per soliede massa verkry word by beste verpakking. Soos in hoofstuk 6 verduidelik, is die hoeveelheid kleefwater by fyn sandmenge kleiner as die watervereiste vir goed werkbare mengte, sodat alle fyn sandmenge sal bloei. Hierdie watervereistes is bepaal vir werkbaarhede van ongeveer 50 mm uitsakking en beton met 'n effense nat voorkoms. Dit is duidelik dat laer watervereistes moontlik is wanneer laer sigbare werkbaarhede en 'n droë voorkoms van die beton aanvaar word. Daarom is dit belangrik om die water in fynsand mengte te beperk tot die absolute minimum en die droë voorkoms te aanvaar solank die beton goed verdig en verdigbaar is.

Terwyl eksterne bloeiing die ontwerper moet waarsku dat iets moontlik verkeerd is met die meng, is interne bloeiing eintlik die nadeligste aspek van bloeiing. Dit is daarom belangrik om die totale bloeivermoë van mengte te kan bepaal. Aangesien die gewone bloei-meters oneffektief is, is dit belangrik om die bloeivermoë van 'n mengte te kan bepaal soos verduidelik in die laaste paragrawe van afdeling 6.3. Volgens hierdie metode word vasgestel hoeveel water 'n mengte in werklikheid kan vashou en dit dan te vergelyk met die hoeveelheid water wat gebruik is vir die mengte. Is die vasgehoue water minder as die gebruikte water, sal die mengte bloei indien nie alleen ekstern nie, dan ook intern. Is die potensiële vasgehoue water meer of gelyk aan die water gebruik vir die mengte, sal bloei as sulks nie voorkom nie.

Hierdie sterk positiewe metode om bloeivermoë van mengte te bepaal, kan gerus meer gebruik word in die praktyk om werklike situasies te beoordeel. Hopelik sal hierdie eerste bekendstelling van die metode Betontechnologie aanmoedig om dit ook toe te pas.

Aangesien eksterne bloeiing by fynsand mengte verwag kan



word, is dit belangrik dat beton nie staties vervoer word nie, maar dat beton gedurig geroer en omgekeer word soos by vragwamengers die geval is, om die water binne te hou. Water wat ekstern uitbloei tydens vervoer kan groot hermeng probleme skep omdat die beton dan vasgesak het in die houe en moeilik verwyder kan word.

#### 8.3.5 Krimping:

Die toetse dui daarop dat krimping van fyn sand mortel meer groter kan wees as waar gewone sand gebruik word. Dit blyk ook dat krimping nie noodwendig sal verhoog as die  $w/s = 0,50$  of laer is nie, maar dat dit toeneem in vergelyking met mortels van gewone sand soos die  $w/s$  verhouding toeneem bo  $w/s = 0,50$ . Mortel is slegs 'n deel van beton en soos reeds getoon bevat beton wat met fyn sand meer gemaak is minder fyn toeslag as meer wat met gewone grove sand gemaak is. Krimping van beton met fyn sand sal dus nie noodwendig dramaties groter wees as dié wat met gewone sand gemaak is nie. Nogtans moet die effek groter krimpvermoë in gedagte gehou word as met meer van  $w/s = 0,60$  en  $w/s = 0,70$  en hoër gewerk word.

'n Belangrike aspek wat ook na vore gekom het, is dat vroeë uitdroging van mortel aanvanklik krimping verlaag en beton instaat stel om te kruip om krimpspannings te verlig. Aanvanklike nat nabehandeling kan groot krimpspanninge ten gevolge hê, wat moontlik nie deur die beton geabsorbeer kan word nie. Dit word dus aanbeveel dat water verhoed word om die beton te verlaat na plasing en dat die beton gelaat word om dadelik te begin uitdroog waar aanvanklike krimping beperk moet word. Dit is natuurlik teenstrydig met aanvanklike sterkte ontwikkeling, maar soos die beton ouer word en weer water vind om verder te hidreer en sterker te word, sal verdere krimping moontlik makliker akkomodeer kan word.

Dit blyk ook dat mits die beton genoeg water kry sodat die sement ver kan vorder met hidrasie, die maksimum verwagte krimp binne die eerste 200 dae verwag kan word.

Dit bly egter belangrik dat water in die beton behoue bly na verdigting. Die meeste betonmengte het w/s verhoudings van groter as  $w/s = 0,45$  sodat as al die water in die meng behoue bly, volkome hidrasie tog moontlik is. As die w/s verhouding groter is as 0,45, kan 'n deel van die water selfs aangemoedig word om die meng so vroeg moontlik te verlaat sodat krimp as gevolg van bewegende water vroeg reeds kan plaasvind en voordat die beton volle sterkte bereik. Dit sal kruip effektief aanmoedig.

#### 8.3.6 Toepassings:

Sand word in die normale boubedryf algemeen gebruik vir die maak van betonstene of -blokke, vir messelwerk in mortel of dagha, vir pleisterwerk en vir beton. Duinsand kan in al vier hierdie bedrywe baie nuttig gebruik word òf as vervanger van 'n deel van die goeie sand òf op sy eie met 'n bietjie hulp of selfs moontlik sonder verdere hulp. Vervanging van tot 15% van 'n baie goeie betonsand met superfyn duinsand het baie goeie resultate gelever en in sekere gevalle selfs die watervereiste vir die meng verlaag. Daar is geen rede waarom nie meer van die beter sandsoorte nie in ander hoeveelhede met minderwaardige duinsand vervang kan word nie. Dit bly egter belangrik dat die ontwerper bewus moet wees van die regte metodes en tegnieke om die regte hoeveelheid te kry en nie op lukraak metodes moet staatmaak nie, asook van die gepaardgaande invloede wat veral fyn sande op die hoeveelheid kan hê.

##### (a) Betonstene of -blokke:

Betonstene of -blokke, of soos beter bekend as

sementstene of -blokke, word deesdae vry algemeen gebruik. Die sterktes verwag van normale stene of blokke is nie hoog nie en stene met sterkte van 4 - 7 MPa op 28 dae word vry algemeen gebruik. Dit is net wanneer die stene of blokke in ongepleisterde blootgestelde gebiede gebruik word dat sterktes van 14 - 21 MPa op 28 dae vereis word.

Vir die selfbouer kan dit groot voordele inhou as hy stene of sy eie erf van die sand van die erf kan maak en daarmee kan bou of as hy goedkoop swakker gehalte sand in die hande kan kry. Dit is sekerlik nie moeilik om sterktes van 4 - 7 MPa te verkry nie en aangesien porositeit hier nie 'n rol spaal nie, kan sekerlik die meeste swakker gehalte sande gebruik word. Om die regte verhoudings te kry kan teruggeval word op basiese kurwes vir beste verpakking of selfs op verpakkingstoetse. In baie gevalle is dit gouer en meer bevredigend om 'n paar stene met verskillende sement/sand verhoudings te maak en te toets:

(b) Mortel of dagha vir messelwerk:

Om die regte mortelmeng te kry, is heelwat moeiliker as die sand 'n kort graderingsbestek het, omdat plastisiteit en smeerbaarheid nou 'n bykomende vereiste is. 'n Growwer of moontlik 'n fyner sand sal nou bygevoeg moet word en die hoeveelhede kan weer bepaal word met behulp van die basiese graderingskurwes vir fyn toeslag soos beskryf in hoofstuk 5. Hoë sterktes sal nie nodig wees nie, want daar is geen nut in om dagha- of mortelsterktes groter as dié van die stene wat gebind moet word, te gebruik nie.



(c) Vir Pleisterwerk:

'n Verdere aspek van duursaamheid kom nou by wat beteken dat groter sterktes en digter menige gebruik moet word tesame met goeie smeerbaarheid.

Die meeste probleme kan op hierdie gebied ondervind word, maar ruimer gebruik van swakker sandsoorte is nie uitgesluit nie. Al wat nodig is, is om die regte bymengsel en verhouding te vind soos byvoorbeeld growwer of fyner sand. Belugting kan met sy baie klein lugbelletjies tekorte in hoeveelhede deur die 0,150 mm sif gerieflik aanvul en word reeds ruimskoots gebruik by die swakker tipe Kaapse vlakke sand. Plastiseerders en waterspaarmiddels kan ook sterk oorweeg word om plastisiteit en smeerbaarheid te verhoog, maar dit word sterk aanbeveel dat eers na die sand self gekyk word om dit te verbeter voordat bymengsels gebruik word.

(d) Vir Beton:

Die gebruik van swakker sandsoorte is reeds deeglik in hierdie werk gedek, sodat dit nie nodig is om daaroor uit te wei nie. Dit bly egter belangrik dat dissipline ten opsigte van akkurater afmetings van menghoeveelhede en water en van minimum water en die aanvaarding van oënskynlik droë menige en eksterne bloei verskynsels, gehandhaaf moet word. Gepaardgaande hiermee, moet gesorg word vir goeie trilbewerking en verdigting. As menige nou ontwerp word vir goeie verpakking, behoort daar nie probleme te wees nie.

Ten besluite kan dus beweer word dat alle sand nuttig gebruik kan word in die boubedryf en dat swak

gegradeerde duinsande mense nie hoof af te skrik nie. 'n Goeie begrip van wat gedoen moet word en van wat verwag kan word is noodsaaklik en daarby ook die aanvaarding dat fyn sand beton anders lyk as gewone beton. Dieselfde goeie kwaliteit beton as vir gewone beton is moontlik, mits daar reg te werk gegaan word.

Hopelik sal hierdie werk 'n bestendige bydrae lewer tot sodanige begrippe en sal duinsand met meer vertroue in die toekoms gebruik kan word.

## VERWYSINGS

- (1) S.A. Vereniging van sement vervaardigers - Jaarlikse oorsigte, 1980 - 1983.
- (2) Coetzee, C.B. - Delfstowwe van die Republiek van Suid-Afrika - 5de Uitgawe, Handboek 7 - Staatsdrukkers, Pretoria, 1976 (pp. 351 - 354).
- (3) Oberholster, R. - N.B.N.I. - Persoonlike kontak. 1980 - 83.
- (4) Chapman, G.P. and Rhoder, A.R. - The effects of sea shells in concrete aggregates - Concrete, February 1970.
- (5) C.S.I.R. - Final report on an investigation into the use of sea sand for building purposes - C/BOU 643 - C.S.I.R. Contract Report - Pretoria, 1974.
- (6) Davis, D.E. - Concrete making properties of S.A. aggregates - Ph.D Thesis - Witwatersrand University, 1975.
- (7) Davis, D.E., McIver, J.R. and Wolhuter, C.W. - S.A. aggregates for Concrete, Part 2: Fine aggregates - The Civil Engineer in S.A. - May 1979 (pp. 115 - 121).
- (8) S.A.B.S. - Aggregate uit natuurlike bronne - S.A.B.S. 1083/1976 - Pretoria, 1980.
- (9) Buchsbaum, R. - Animals without backbones - Chicago, 1948 (pp. 61 - 69).
- (10) B.S. Standards - Portland cement - B.S. 12/1958 - B.S. Institution - London.
- (11) Hill, R.S. and Theron, J.N. - Silica sand of the Cape Flats - Bulletin 69 - Government Printer, 1981.



- (12) Loedolff, G.F. - Die Rol van Water in Beton - Nasou, 1977, Kaapstad.
- (13) Brink, v.d. S. and Rogers, J. - Rapid granulometry of sand using a computer linked settling tube - Geological Survey - Bellville.
- (14) Hughes, B.P. Particle interference and the workability of concrete - A.C.I. Publication No. 63 - 16, March 1966.
- (15) Butcher, B.J. and Hopkins, H.J. - Particle interference in concrete mixes - A.C.I. No. 53 - 29, November 1956.
- (16) Dunagan, W.M. - The application of some of the newer concepts to the design of concrete mixes - A.C.I. Vol. 36, June 1940.
- (17) Tuthill, L.H. - Better grading of concrete aggregates - Concrete international, December 1980 (Vol. 2, No. 12).
- (18) Wenyue, Qiu and Jiabao, Xu - Application and quality control of superfine sand concrete - Chongqing Institute of Architectural Engineering - Chongqing - China, 1979.
- (19) Teychennè, D.C. - Investigations at the BRE-Seminar on crushed rock aggregates in concrete - 1978.
- (20) Blakey, H. - A contractor's experience - Seminar on crushed rock aggregates in Concrete - 1978.
- (21) Powers, T.C. - Properties of Fresh Concrete - John Wiley, 1967.
- (22) Fulton, F.S. - Concrete Technology - P.C.I. Johannesburg - 5th Edition, 1977.

- (23) Mercer, L.B. - The law of grading for concrete aggregates - Melbourne Technical College Press, 1952.
- (24) Mercer, L.B. - Concrete mix design - Melbourne Technical College Press, 1953.
- (25) Technische Hogeschool Delft - Betonkunde Deel A - Delft, 1977 (pp. 11a - 10).
- (26) C. & C.A. - ACT course notes, 1979, Slough.
- (27) Kral, S. - Fissures dans le beton plastique - Holderbank report, Part I - 1974.
- (28) Kral, S. and Dratva, T.H. - Cracks in plastic concrete - Holderbank report, Part II - 1975.
- (29) Ravina, D. and Shalon, R. - Plastic shrinkage cracking - A.C.I. Journal, April 1965, Vol. 65, (pp. 282 - 292).
- (30) Murdock, L.J. - The workability of concrete - Magazine of Concrete Research - No. 36 - 1960.
- (31) Murdock, L.J. - Concrete materials and Practice - Metcalfe and Cooper - 1960.
- (32) Forrester, J.A. - Persoonlike kontak - C. & C.A., London.
- (33) Myburgh, M.F. - Spesifieke oppervlaktes - Finalejaar skripsie, 1963. Universiteit van Stellenbosch.
- (34) Soen, M. - Mebin voeibeton verslag No. 7/1979 van Mebin kwaliteitsdienste - Aanvullend onderzoek na water-afscheiding (Bleeding) - Beverwijk, 1979 - ook persoonlike kontak.

- (35) Neville, A.M. - Properties of Concrete - Pitman Publications - 3rd Edition - 1981.
- (36) Bazant, Z.P. - Persoonlike kontak - Kaapstad, 1984.
- (37) Powers, T.C. - The nature of concrete - A.S.T.M. - S.T.P. 169 - 1966.
- (38) Powers, T.C. - Some physical aspects of the hydration of portland cement - P.C.A. Journal, 1961.
- (39) Verbeek. G.J. and Helmuth, R.A. - Structures and physical properties of cement paste - 5th Intern. Symposium on the Chemistry of Cement - Tokyo, 1968.
- (40) Fulton, F.S. - The shrinkage of concretes and mortars - P.C.I. Laboratory Report SF-3 - Johannesburg, 1962.
- (41) Helmuth, R.A. and Turk, D.H. - The reversible and irreversible drying shrinkage of hardened Portland cement and tricalcium silicate pastes - P.C.A.-Bulletin 215 - 1967.
- (42) A.C.I. - Hardened Concrete - physical and mechanical aspects - A.C.I. Monograph No. 6 - 1971.
- (43) Putteril, K.E. en Holmes, F.J. - Persoonlike kontak - N.B.N.I. verteenwoordigers van Weskaap - 1984.
- (44) D'Appolonia, D.J. and D'Appolonia, E. - Determination of the Maximum Density of Cohesionless Soils - Proceedings of the Third Asian Regional Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering - Israel 1967 (Pages 266 - 268).
- (45) Coetsee, A. - Persoonlike kontak - Stellenbosch (1980).
- (46) Flanagan, J. - Persoonlike kontak - Goodwood (1978).



BYLAE A

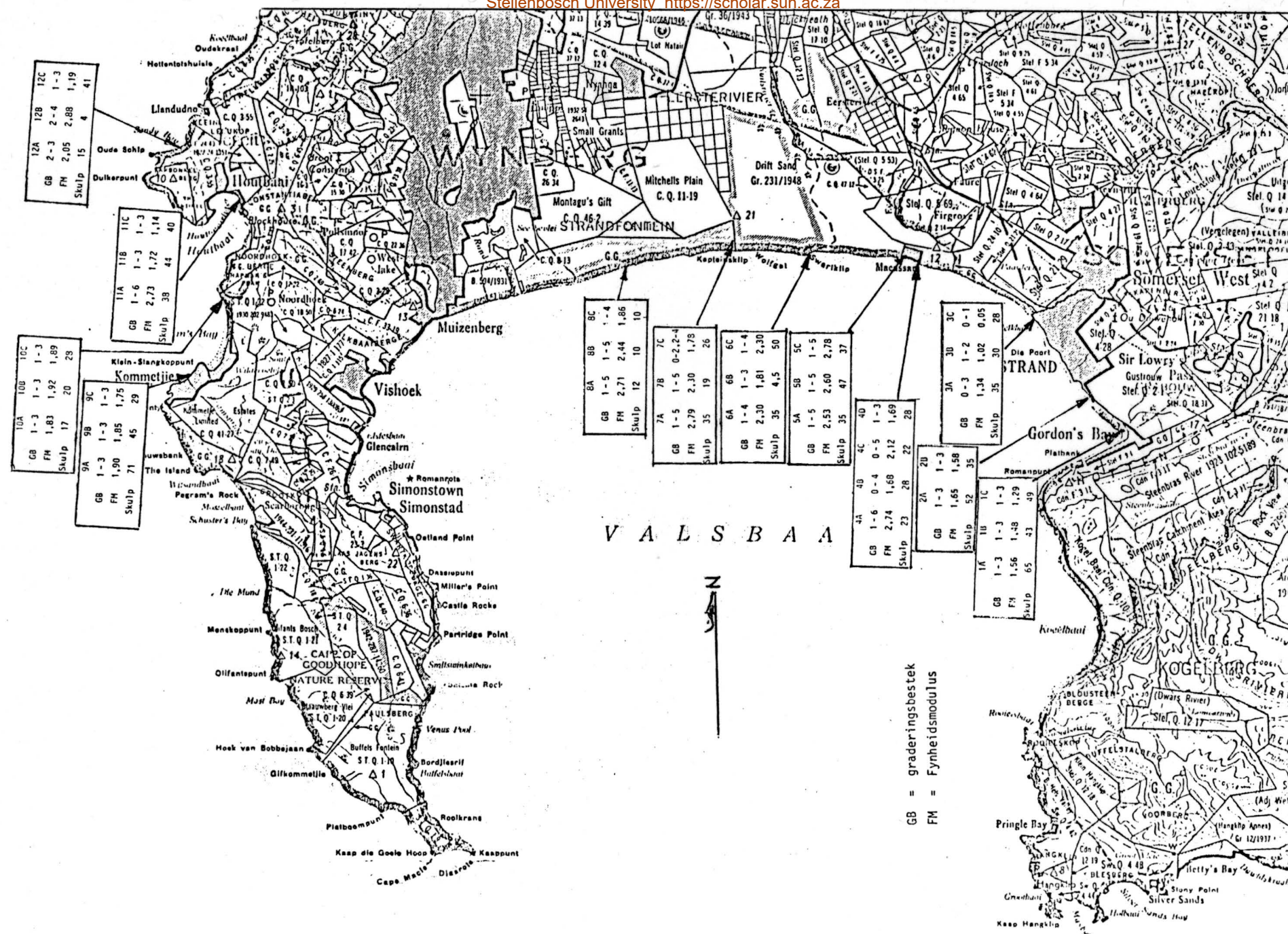
Plekke waar monsters geneem is en besonderhede van  
monsters.

BYLAE A  
Plekke van monsterneming.

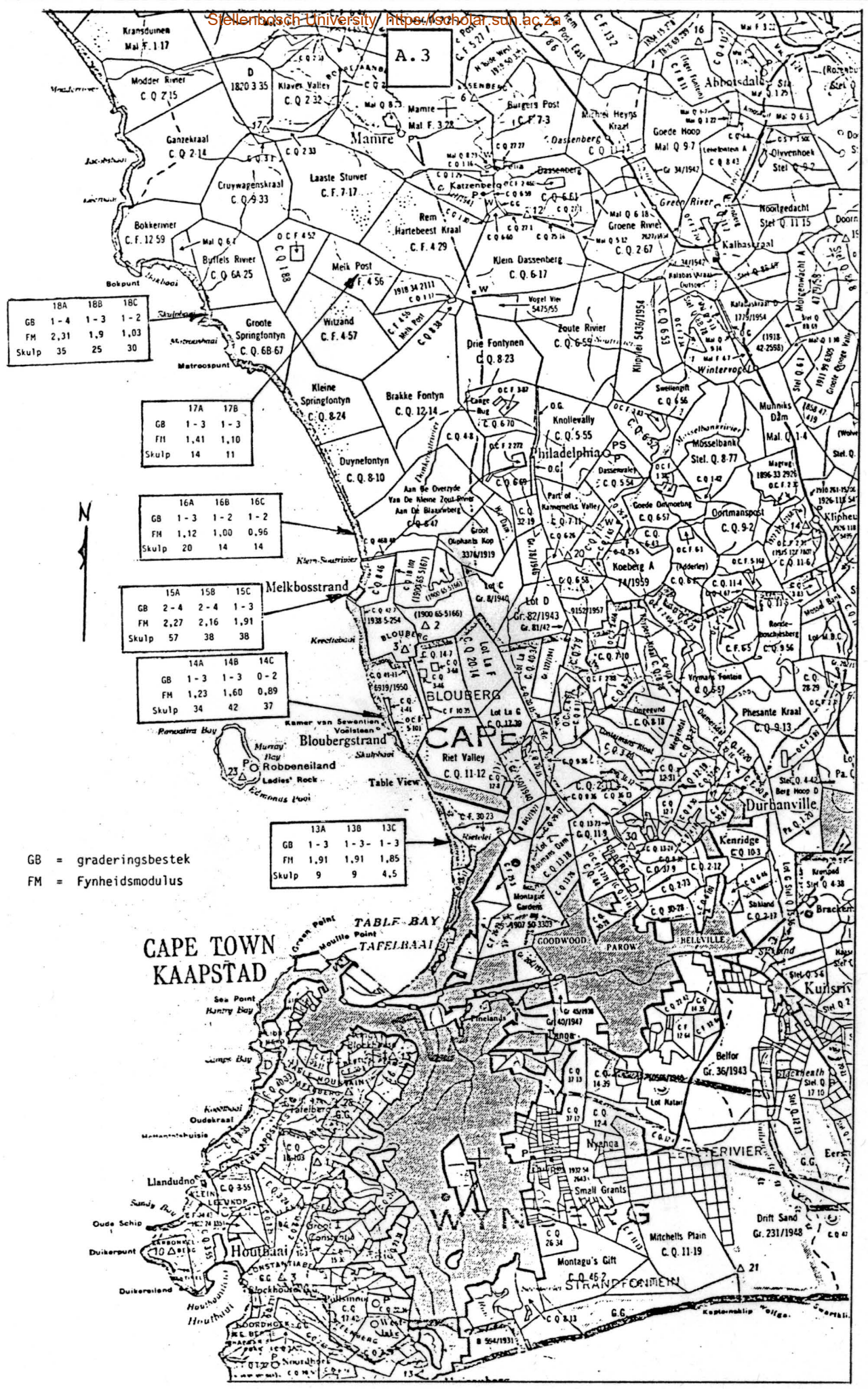
25D  
24ABC  
23ABC  
22ABC  
21ABC  
20ABC  
19ABC  
18ABC  
17AB  
16ABC  
15ABC  
14ABC  
13ABC  
12ABC  
11ABC  
10ABC  
9ABC  
8ABC  
7ABC  
6ABC  
5ABC  
4ABC  
3ABC  
2AB  
1ABC

CAPE TOWN  
KAAPSTAD  
WYNBERG  
SOMERSET WEST  
V.A.L.S.B.A.A.I  
F.A.L.S.E B.A.Y

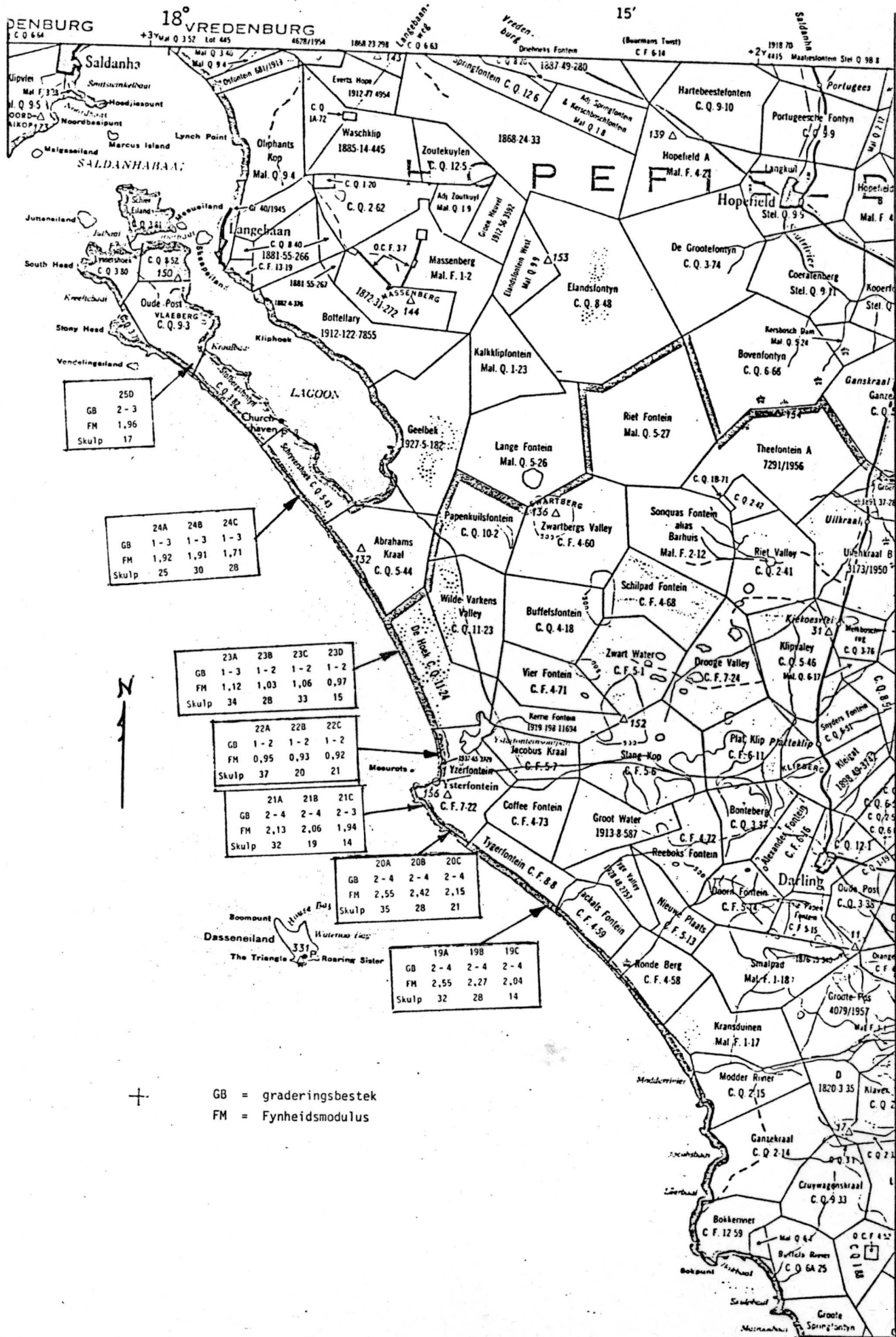












BYLAE B

Fisiese eienskappe van kussande.



## Fisiese eienskappe van kussande

Stellenbosch University <https://scholar.sun.ac.za>

EIEKAPPE VAN KUSSAND MONSTERS

Verw Nr	BESKRYWING			
1	A en B Gordonsbaai (Karavaanpark) C Gordonsbaai (baken) RV 034 187 032 193 (1 : 50 000 skaal)			
	A	B	C	D
Plek mbt Hoogwatermerk	onder	op	150 m	m
Relatiewe digtheid	2,63	2,65	2,70	
Droë los volume digtheid kg/m <sup>3</sup>	1 247	1 321	1 276	
Persentasie CaCO <sub>3</sub>	65	43	49	
Persentasie chloriedes	0,242	0,005	0,016	
Spesifieke oppervlakte cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>	567	387	549	
Vorm - volgens Pettijohn skaal	0,15/0,4	0,15/0,6	0,15/0,4	
Gradering	Sif FM	Persentasie wat op elke sif aalterbly		
4750 µm	6		1,8	gebreekte
2360 "	5	0,3	0,1	1,1
1180 "	4	1,7	0,6	1,7
600 "	3	4,8	2,2	0,7
300 "	2	43,4	43,9	14,3
150 "	1	46,6	50,8	75,7
75 "	0	3,2	2,4	4,8
Deur 75 "	-1			
Fynheids modulus		1,56	1,48	1,29
Opmerkings:				
2	Strand Gholfaan, RV 004 218 (1 : 50 000 skaal)			
	A	B	C	D
Plek mbt Hoogwatermerk	onder	op	m	m
Relatiewe digtheid	2,65	2,67		
Droë los volume digtheid kg/m <sup>3</sup>	1 272	1 343		
Persentasie CaCO <sub>3</sub>	53	35		
Persentasie chloriedes	0,349	0,001		
Spesifieke oppervlakte cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>	452	325		
Vorm - volgens Pettijohn skaal	0,25/0,6	0,15/0,6		
Gradering	Sif FM	Persentasie wat op elke sif aalterbly		
4750 µm	6			
2360 "	5	0,1		
1180 "	4	0,1		
600 "	3	1,7	1,6	
300 "	2	64,4	56,5	
150 "	1	30,5	40,5	
75 "	0	3,2	1,4	
Deur 75 "	-1			
Fynheids modulus		1,65	1,58	
Opmerkings:				

EIEKAPPE VAN KUSSAND MONSTERS

Verw Nr	BESKRYWING			
3	Strand Noord RV 984 247 (1 : 50 000 skaal)			
	A	B	C	D
Plek mbt Hoogwatermerk	onder	op	20 m	m
Relatiewe digtheid	2,70	2,68	2,65	
Droë los volume digtheid kg/m <sup>3</sup>	1 298	1 280	1 255	
Persentasie CaCO <sub>3</sub>	35	30	28	
Persentasie chloriedes	0,316	0,012	0,002	
Spesifieke oppervlakte cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>	562	641	764	
Vorm - volgens Pettijohn skaal	0,25/0,6	0,25/0,6	0,25/0,6	
Gradering	Sif FM	Persentasie wat op elke sif aalterbly		
4750 µm	6			
2360 "	5			
1180 "	4	0,1		
600 "	3	0,2		
300 "	2	48,7	1,5	0,2
150 "	1	35,9	97,0	5,8
75 "	0	15,1	1,4	92,4
Deur 75 "	-1			1,6
Fynheids modulus		1,34	1,02	0,05
Opmerkings:				
4	Macassar Suid RV 937 269 (1 : 50 000 skaal)			
	A	B	C	D
Plek mbt Hoogwatermerk	onder	op	100 m	300 m
Relatiewe digtheid	2,67	2,71	2,70	2,67
Droë los volume digtheid kg/m <sup>3</sup>	1 551	1 408	1 553	1 305
Persentasie CaCO <sub>3</sub>	23	28	22	28
Persentasie chloriedes	0,017	0,002	0,003	0,002
Spesifieke oppervlakte cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>	230	394	361	369
Vorm - volgens Pettijohn skaal	0,15/0,6	0,25/0,6	0,25/0,6	0,25/0,6
Gradering	Sif FM	Persentasie wat op elke sif aalterbly		
4750 µm	6	2,2		
2360 "	5	11,1		
1180 "	4	22,9	2,5	30,7
600 "	3	12,1	14,2	5,8
300 "	2	30,0	45,8	19,6
150 "	1	17,3	23,5	29,8
75 "	0	4,5	14,0	13,5
Deur 75 "	-1			
Fynheids modulus		2,74	1,68	2,12
Opmerkings: R.V. vir D 940 275.				

EIEKAPPE VAN KUSSAND MONSTERS

Verw Nr	BESKRYWING			
5	Macassar Noord RV 914 175 (1 : 50 000 skaal)			
	A	B	C	D
Plek mbt Hoogwatermerk	onder	op	100 m	m
Relatiewe digtheid	2,66	2,70	2,69	
Droë los volume digtheid kg/m <sup>3</sup>	1 373	1 418	1 507	
Persentasie CaCO <sub>3</sub>	35	47	37	
Persentasie chloriedes	0,213	0,002	0,013	
Spesifieke oppervlakte cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>	286	356	299	
Vorm - volgens Pettijohn skaal	0,15/0,6	0,15/0,4	0,15/0,6	
Gradering	Sif FM	Persentasie wat op elke sif aalterbly		
4750 µm	6	0,2	0,2	
2360 "	5	0,5	0,7	0,5
1180 "	4	28,1	34,6	46,7
600 "	3	26,2	19,7	16,9
300 "	2	17,8	17,7	9,4
150 "	1	22,4	22,2	18,4
75 "	0	4,8	4,8	8,2
Deur 75 "	-1			
Fynheids modulus		2,53	2,60	2,78
Opmerkings:				
6	Swartklip RV 868 277 (1 : 50 000 skaal)			
	A	B	C	D
Plek mbt Hoogwatermerk	onder	op	30 m	m
Relatiewe digtheid	2,66	2,64	2,65	
Droë los volume digtheid kg/m <sup>3</sup>	1 505	1 381	1 471	
Persentasie CaCO <sub>3</sub>	35	4,5	50	
Persentasie chloriedes	0,125	0,041	0,003	
Spesifieke oppervlakte cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>	227	411	225	
Vorm - volgens Pettijohn skaal	0,25/0,6	0,15/0,6	0,25/0,6	
Gradering	Sif FM	Persentasie wat op elke sif aalterbly		
4750 µm	6	0,1		
2360 "	5	0,4		
1180 "	4	2,9		6,9
600 "	3	38,5	1,4	30,5
300 "	2	42,9	79,9	48,5
150 "	1	14,6	16,8	13,5
75 "	0	0,6	1,9	0,6
Deur 75 "	-1			
Fynheids modulus		2,30	1,81	2,30
Opmerkings: * B in sagte sandlaag in wal (glassand).				

EIEKAPPE VAN KUSSAND MONSTERS

Verw Nr	BESKRYWING			
7	Kapteinskliip RV 805 273 (1 : 50 000 skaal)			
	A	B	C	D
Plek mbt Hoogwatermerk	onder	op	80 m	m
Relatiewe digtheid	2,67	2,68	2,66	
Droë los volume digtheid kg/m <sup>3</sup>	1 566	1 580	1 436	
Persentasie CaCO <sub>3</sub>	35	19	26	
Persentasie chloriedes	0,095	0,008	0,009	
Spesifieke oppervlakte cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>	235	253	270	
Vorm - volgens Pettijohn skaal	0,25/0,6	0,25/0,6	0,4/0,6	
Gradering	Sif FM	Persentasie wat op elke sif aalterbly		
4750 µm	6	0,1		
2360 "	5	0,4	0,1	
1180 "	4	37,8	9,4	
600 "	3	20,7	31,5	6,5
300 "	2	23,1	40,5	76,1
150 "	1	17,3	15,9	15,8
75 "	0	0,7	2,5	1,6
Deur 75 "	-1			
Fynheids modulus		2,79	2,30	1,78
Opmerkings:				
8	Strandfontein RV 732 259 (1 : 50 000 skaal)			
	A	B	C	D
Plek mbt Hoogwatermerk	onder	op	20 m	m
Relatiewe digtheid	2,66	2,65	2,66	
Droë los volume digtheid kg/m <sup>3</sup>	1 599	1 653	1 498	
Persentasie CaCO <sub>3</sub>	12	10	10	
Persentasie chloriedes	0,068	0,011	0,002	
Spesifieke oppervlakte cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>	214	302	274	
Vorm - volgens Pettijohn skaal	0,4/0,6	0,4/0,6	0,4/0,6	
Gradering	Sif FM	Persentasie wat op elke sif aalterbly		
4750 µm	6	0,1	1,9	
2360 "	5	0,6	1,1	
1180 "	4	14,1	7,2	0,2
600 "	3	53,2	39,6	14,5
300 "	2	19,7	30,6	57,6
150 "	1	11,6	18,4	25,8
75 "	0	0,7	1,2	1,8
Deur 75 "	-1			
Fynheids modulus		2,71	2,44	1,86
Opmerkings:				



EIENSKAPPE VAN KUSSAND MONSTERS

Verw Nr	BESKRYWING				
9	Kommetjie RV 536 197 (1 : 50 000 skaal)				
		A	B	C	D
	Plek mbt Hoogwatermerk	onder	op	30 m	m
	Relatiewe digtheid	2,65	2,68	2,67	
	Droë los volume digtheid kg/m <sup>3</sup>	1 328	1 414	1 404	
	Persentasie CaCO <sub>3</sub>	71	45	29	
	Persentasie chloriedes	0,141	0,010	0,012	
	Spesifieke oppervlakte cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>	288	320	296	
	Vorm - volgens Pettijohn skaal	0,4/0,6	0,4/0,6	0,4/0,6	
	Gradering	Sif FM	Persentasie wat op elke sif agterbly		
	4750 µm	6	-	-	-
	2360 "	5	-	-	-
	1180 "	4	-	-	-
	600 "	3	0,1	-	-
	300 "	2	90,2	84,9	75,4
	150 "	1	9,6	14,9	24,4
	75 "	0	0,1	0,2	0,2
	Deur 75 "	-1	-	-	-
	Fynheids modulus	1,90	1,85	1,75	

Opmerkings:

10	Noordhoek RV 558 242 (1 : 50 000 skaal)				
		A	B	C	D
	Plek mbt Hoogwatermerk	onder	op	50 m	m
	Relatiewe digtheid	2,69	2,67	2,66	
	Droë los volume digtheid kg/m <sup>3</sup>	1 513	1 495	1 463	
	Persentasie CaCO <sub>3</sub>	17	20	28	
	Persentasie chloriedes	0,088	0,009	0,002	
	Spesifieke oppervlakte cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>	256	263	303	
	Vorm - volgens Pettijohn skaal	0,4/0,6	0,4/0,6	0,4/0,6	
	Gradering	Sif FI	Persentasie wat op elke sif agterbly		
	4750 µm	6	-	-	-
	2360 "	5	-	-	-
	1180 "	4	-	-	0,2
	600 "	3	-	-	0,1
	300 "	2	82,7	91,5	88,2
	150 "	1	17,2	8,5	11,4
	75 "	0	0,1	-	-
	Deur 75 "	-1	-	-	-
	Fynheidsmodulus	1,83	1,92	1,89	

Opmerkings:

EIENSKAPPE VAN KUSSAND MONSTERS

Verw Nr	BESKRYWING				
11	Houtbaai RV 564 298 (1 : 50 000 skaal)				
		A	B	C	D
	Plek mbt Hoogwatermerk	onder	op	50 m	m
	Relatiewe digtheid	2,63	2,67	2,68	
	Droë los volume digtheid kg/m <sup>3</sup>	1 433	1 373	1 345	
	Persentasie CaCO <sub>3</sub>	38	44	40	
	Persentasie chloriedes	0,116	0,014	0,003	
	Spesifieke oppervlakte cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>	344	336	355	
	Vorm - volgens Pettijohn skaal	0,25/0,4	0,25/0,6	0,25/0,6	
	Gradering	Sif FM	Persentasie wat op elke sif agterbly		
	4750 µm	6	6,3	-	-
	2360 "	5	8,2	-	-
	1180 "	4	18,3	0,3	-
	600 "	3	12,8	0,4	0,1
	300 "	2	19,5	71,1	14,8
	150 "	1	23,1	27,2	83,8
	75 "	0	1,8	1,0	1,3
	Deur 75 "	-1	-	-	-
	Fynheids modulus	2,53	1,72	1,14	

Opmerkings:

12	Llandudno RV 537 324 (1 : 50 000 skaal)				
		A	B	C	D
	Plek mbt Hoogwatermerk	onder	op	100 m	m
	Relatiewe digtheid	2,70	2,68	2,66	
	Droë los volume digtheid kg/m <sup>3</sup>	1 498	1 598	1 210	
	Persentasie CaCO <sub>3</sub>	15	4	41	
	Persentasie chloriedes	0,072	0,031	-	
	Spesifieke oppervlakte cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>	202	99	-	
	Vorm - volgens Pettijohn skaal	0,15/0,6	0,25/0,6	0,4/0,6	
	Gradering	Sif FI	Persentasie wat op elke sif agterbly		
	4750 µm	6	-	0,2	-
	2360 "	5	-	0,5	-
	1180 "	4	0,1	2,2	-
	600 "	3	9,6	82,2	-
	300 "	2	85,2	14,1	24,0
	150 "	1	5,1	0,8	71,2
	75 "	0	-	-	4,8
	Deur 75 "	-1	-	-	-
	Fynheidsmodulus	2,05	2,88	1,19	

Opmerkings:

EIENSKAPPE VAN KUSSAND MONSTERS

Verw Nr	BESKRYWING				
13	Milnerton RV 674 525 (1 : 50 000 skaal)				
		A	B	C	D
	Plek mbt Hoogwatermerk	onder	op	60 m	m
	Relatiewe digtheid	2,68	2,69	2,67	
	Droë los volume digtheid kg/m <sup>3</sup>	1 508	1 493	1 487	
	Persentasie CaCO <sub>3</sub>	9	9	4,5	
	Persentasie chloriedes	0,095	0,060	0,003	
	Spesifieke oppervlakte cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>	234	260	269	
	Vorm - volgens Pettijohn skaal	0,25/0,4	0,25/0,4	0,25/0,6	
	Gradering	Sif FM	Persentasie wat op elke sif agterbly		
	4750 µm	6	-	-	0,1
	2360 "	5	-	-	0,1
	1180 "	4	0,1	-	0,3
	600 "	3	2,1	0,9	0,3
	300 "	2	87,2	90,7	84,2
	150 "	1	10,1	8,2	13,7
	75 "	0	0,5	0,2	1,3
	Deur 75 "	-1	-	-	-
	Fynheids modulus	1,91	1,91	1,85	

Opmerkings:

14	Blouberg RV 644 585 (1 : 50 000 skaal)				
		A	B	C	D
	Plek mbt Hoogwatermerk	onder	op	80 m	m
	Relatiewe digtheid	2,70	2,69	2,72	
	Droë los volume digtheid kg/m <sup>3</sup>	1 500	1 504	1 499	
	Persentasie CaCO <sub>3</sub>	34	42	37	
	Persentasie chloriedes	0,087	0,017	0,003	
	Spesifieke oppervlakte cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>	359	364	401	
	Vorm - volgens Pettijohn skaal	0,4/0,6	0,25/0,6	0,4/0,6	
	Gradering	Sif FI	Persentasie wat op elke sif agterbly		
	4750 µm	6	-	-	-
	2360 "	5	-	-	-
	1180 "	4	-	0,1	-
	600 "	3	-	0,8	0,4
	300 "	2	25,1	60,5	4,7
	150 "	1	72,7	36,1	79,9
	75 "	0	2,2	2,5	13,6
	Deur 75 "	-1	-	-	1,4
	Fynheidsmodulus	1,23	1,60	0,89	

Opmerkings:

EIENSKAPPE VAN KUSSAND MONSTERS

Verw Nr	BESKRYWING				
15	Melkbosstrand RV 624 648 (1 : 50 000 skaal)				
		A	B	C	D
	Plek mbt Hoogwatermerk	onder	op	30 m	m
	Relatiewe digtheid	2,74	2,70	2,71	
	Droë los volume digtheid kg/m <sup>3</sup>	1 648	1 642	1 585	
	Persentasie CaCO <sub>3</sub>	57	38	38	
	Persentasie chloriedes	0,051	0,012	0,008	
	Spesifieke oppervlakte cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>	193	149	258	
	Vorm - volgens Pettijohn skaal	0,25/0,6	0,25/0,6	0,15/0,6	
	Gradering	Sif FM	Persentasie wat op elke sif agterbly		
	4750 µm	6	1,9	0,4	-
	2360 "	5	0,7	0,2	-
	1180 "	4	0,4	0,2	0,1
	600 "	3	24,2	21,0	5,5
	300 "	2	64,9	70,9	81,4
	150 "	1	7,8	7,1	11,7
	75 "	0	0,1	0,2	1,3
	Deur 75 "	-1	-	-	-
	Fynheids modulus	2,27	2,16	1,91	

Opmerkings:

16	Ouskip-Melkbosstrand RV 626 690 (1 : 50 000 skaal)				
		A	B	C	D
	Plek mbt Hoogwatermerk	onder	op	20 m	m
	Relatiewe digtheid	2,69	2,71	2,69	
	Droë los volume digtheid kg/m <sup>3</sup>	1 456	1 442	1 429	
	Persentasie CaCO <sub>3</sub>	20	14	14	
	Persentasie chloriedes	0,142	0,010	0,004	
	Spesifieke oppervlakte cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>	313	361	396	
	Vorm - volgens Pettijohn skaal	0,4/0,6	0,4/0,6	0,4/0,6	
	Gradering	Sif FI	Persentasie wat op elke sif agterbly		
	4750 µm	6	-	-	-
	2360 "	5	-	-	-
	1180 "	4	-	0,1	-
	600 "	3	0,1	0,1	-
	300 "	2	16,4	2,3	0,6
	150 "	1	79,1	94,4	94,5
	75 "	0	4,4	3,1	4,9
	Deur 75 "	-1	-	-	-
	Fynheidsmodulus	1,12	1,00	0,96	

Opmerkings:



EIENSKAPPE VAN KUSSAND MONSTERS

Verw Nr	BESKRYWING				
17	A Sand op duin SW van Atlantis B Wit sand SW van Atlantis RV 633 788 (1:50 000 skaal)				
		A	B	C	D
	Plek mbt Hoogwatermerk	onder	op	m	m
	Relatiewe digtheid	2,69	2,65		
	Droë los volume digtheid kg/m <sup>3</sup>	1 495	1 469		
	Persentasie CaCO <sub>3</sub>	19	11		
	Persentasie chloriedes	0,008	0,002		
	Spesifieke oppervlakte cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>	317	323		
	Vorm - volgens Pettijohn skaal	0,4/0,6	0,25/0,6		
	Gradering	Sif FM	Persentasie wat op elke sif aoterbly		
	4750 µm	6	-	-	-
	2360 "	5	-	-	-
	1180 "	4	-	-	-
	600 "	3	0,6	0,1	-
	300 "	2	41,9	11,8	-
	150 "	1	55,4	85,6	-
	75 "	0	2,1	2,5	-
	Deur 75 "	-1	-	-	-
	Fynheids modulus	1,41	1,10		

Opmerkings: Binnelandse monsters.

18	Silverstroomstrand RV 550 805 (1:50 000 skaal)				
		A	B	C	D
	Plek mbt Hoogwatermerk	onder	op	100 m	m
	Relatiewe digtheid	2,65	2,67	2,69	
	Droë los volume digtheid kg/m <sup>3</sup>	1 584	1 489	1 413	
	Persentasie CaCO <sub>3</sub>	35	25	30	
	Persentasie chloriedes	0,059	0,004	0,004	
	Spesifieke oppervlakte cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>	168	246	396	
	Vorm - volgens Pettijohn skaal	0,25/0,6	0,25/0,4	0,25/0,6	
	Gradering	Sif FI	Persentasie wat op elke sif aoterbly		
	4750 µm	6	0,3	0,1	-
	2360 "	5	0,9	0,1	-
	1180 "	4	3,1	0,1	-
	600 "	3	36,0	7,5	-
	300 "	2	45,4	74,4	5,1
	150 "	1	13,6	17,0	93,0
	75 "	0	0,7	0,8	1,9
	Deur 75 "	-1	-	-	-
	Fynheidsmodulus	2,31	1,9	1,03	

Opmerkings:

EIENSKAPPE VAN KUSSAND MONSTERS

Verw Nr	BESKRYWING				
19	Tygerfontein RV 420 008 (1:50 000 skaal)				
		A	B	C	D
	Plek mbt Hoogwatermerk	onder	op	100 m	m
	Relatiewe digtheid	2,70	2,68	2,68	
	Droë los volume digtheid kg/m <sup>3</sup>	1 703	1 616	1 554	
	Persentasie CaCO <sub>3</sub>	32	28	14	
	Persentasie chloriedes	0,051	0,003	0,004	
	Spesifieke oppervlakte cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>	114	132	199	
	Vorm - volgens Pettijohn skaal	0,4/0,6	0,4/0,6	0,4/0,6	
	Gradering	Sif FM	Persentasie wat op elke sif aoterbly		
	4750 µm	6	-	-	-
	2360 "	5	1,1	-	-
	1180 "	4	6,1	1,5	0,1
	600 "	3	41,0	26,8	13,7
	300 "	2	50,7	69,6	77,4
	150 "	1	1,0	2,0	7,7
	75 "	0	0,1	0,1	1,1
	Deur 75 "	-1	-	-	-
	Fynheids modulus	2,55	2,27	2,04	

Opmerkings:

20	Bakoond - Yzerfontein RV 364 047 (1:50 000 skaal)				
		A	B	C	D
	Plek mbt Hoogwatermerk	onder	op	200 m	m
	Relatiewe digtheid	2,67	2,68	2,68	
	Droë los volume digtheid kg/m <sup>3</sup>	1 661	1 592	1 573	
	Persentasie CaCO <sub>3</sub>	35	28	21	
	Persentasie chloriedes	0,058	0,049	0,003	
	Spesifieke oppervlakte cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>	100	141	159	
	Vorm - volgens Pettijohn skaal	0,4/0,6	0,4/0,6	0,4/0,6	
	Gradering	Sif FI	Persentasie wat op elke sif aoterbly		
	4750 µm	6	-	-	-
	2360 "	5	0,1	0,2	-
	1180 "	4	1,3	2,1	-
	600 "	3	52,5	39,4	20,5
	300 "	2	45,5	56,2	73,9
	150 "	1	0,6	2,1	5,4
	75 "	0	-	-	0,2
	Deur 75 "	-1	-	-	-
	Fynheidsmodulus	2,55	2,42	2,15	

Opmerkings:

EIENSKAPPE VAN KUSSAND MONSTERS

Verw Nr	BESKRYWING				
21	Yzerfontein (suid van Skaapeiland) RV 353 061 (1:50 000 skaal)				
		A	B	C	D
	Plek mbt Hoogwatermerk	onder	op	200 m	m
	Relatiewe digtheid	2,69	2,68	2,70	
	Droë los volume digtheid kg/m <sup>3</sup>	1 581	1 564	1 483	
	Persentasie CaCO <sub>3</sub>	32	19	14	
	Persentasie chloriedes	0,063	0,037	0,003	
	Spesifieke oppervlakte cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>	161	165	198	
	Vorm - volgens Pettijohn skaal	0,4/0,6	0,4/0,6	0,4/0,6	
	Gradering	Sif FM	Persentasie wat op elke sif aoterbly		
	4750 µm	6	-	-	-
	2360 "	5	0,1	-	-
	1180 "	4	0,9	0,3	-
	600 "	3	11,8	11,5	0,2
	300 "	2	86,3	82,2	93,8
	150 "	1	0,9	5,9	5,8
	75 "	0	-	0,1	0,2
	Deur 75 "	-1	-	-	-
	Fynheids modulus	2,13	2,06	1,94	

Opmerkings:

22	Yzerfontein - Rooipanseklike RV 358 082 (1:50 000 skaal)				
		A	B	C	D
	Plek mbt Hoogwatermerk	onder	op	50 m	m
	Relatiewe digtheid	2,66	2,67	2,66	
	Droë los volume digtheid kg/m <sup>3</sup>	1 483	1 411	1 388	
	Persentasie CaCO <sub>3</sub>	37	20	21	
	Persentasie chloriedes	0,153	0,010	0,006	
	Spesifieke oppervlakte cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>	382	473	470	
	Vorm - volgens Pettijohn skaal	0,15/0,4	0,25/0,4	0,25/0,4	
	Gradering	Sif FI	Persentasie wat op elke sif aoterbly		
	4750 µm	6	-	-	-
	2360 "	5	-	-	-
	1180 "	4	-	-	-
	600 "	3	-	-	-
	300 "	2	0,6	0,1	0,7
	150 "	1	94,0	93,2	92,2
	75 "	0	5,4	6,0	5,9
	Deur 75 "	-1	-	0,7	1,2
	Fynheidsmodulus	0,95	0,93	0,92	

Opmerkings:

EIENSKAPPE VAN KUSSAND MONSTERS

Verw Nr	BESKRYWING				
23	Yzerfontein-varswaterduine RV 333 142 (1:50 000 skaal)				
		A	B	C	D
	Plek mbt Hoogwatermerk	onder	op	30 m	1 000 m
	Relatiewe digtheid	2,68	2,69	2,68	2,67
	Droë los volume digtheid kg/m <sup>3</sup>	1 427	1 438	1 430	1 455
	Persentasie CaCO <sub>3</sub>	34	28	33	15
	Persentasie chloriedes	0,128	0,015	0,007	0,003
	Spesifieke oppervlakte cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>	329	367	349	358
	Vorm - volgens Pettijohn skaal	0,25/0,6	0,4/0,6	0,4/0,6	0,4/0,6
	Gradering	Sif FM	Persentasie wat op elke sif aoterbly		
	4750 µm	6	-	-	-
	2360 "	5	-	-	-
	1180 "	4	-	-	-
	600 "	3	-	0,1	0,1
	300 "	2	13,5	5,5	7,7
	150 "	1	85,0	91,4	90,4
	75 "	0	1,5	3,0	1,8
	Deur 75 "	-1	-	-	-
	Fynheids modulus	1,12	1,03	1,06	0,97

Opmerkings:

24	Atlantiese Oseaan regoor Skrywershoek RV 277 226 (1:50 000 skaal)				
		A	B	C	D
	Plek mbt Hoogwatermerk	onder	op	200 m	m
	Relatiewe digtheid	2,68	2,67	2,66	
	Droë los volume digtheid kg/m <sup>3</sup>	1 510	1 492	1 447	
	Persentasie CaCO <sub>3</sub>	25	30	28	
	Persentasie chloriedes	0,076	0,017	0,004	
	Spesifieke oppervlakte cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup>	238	236	285	
	Vorm - volgens Pettijohn skaal	0,4/0,6	0,4/0,6	0,4/0,6	
	Gradering	Sif FI	Persentasie wat op elke sif aoterbly		
	4750 µm	6	-	-	-
	2360 "	5	-	-	-
	1180 "	4	-	-	-
	600 "	3	0,4	0,2	-
	300 "	2	91,4	91,1	72,0
	150 "	1	8,1	8,6	27,0
	75 "	0	0,1	0,1	1,0
	Deur 75 "	-1	-	-	-
	Fynheidsmodulus	1,92	1,91	1,71	

Opmerkings:



BYLAE C

Metode om  $\text{CaCO}_3$  inhoude (skulp) te bepaal.

BYLAE CMetode om  $\text{CaCO}_3$  inhoude (skulp) te bepaal:

Die apparaat wat hier gebruik is, is die Varian Techtron atoom absorpsie apparaat. Die apparaat is eers gekalibreer deur 'n reeks oplossings met verskillende bekende  $\text{Ca}^+$ -ioon inhoude in opgeloste vorm te vergelyk met die lesings van  $\text{Ca}^+$ -ione absorpsie wat deur die apparaat gegee word. Die kurwe figuur C.1 is aldus verkry.

'n Sandmonster van sê 5 g word nou geneem en al die  $\text{CaCO}_3$  opgelos in Salpetersuur ( $\text{HNO}_3$ ). Sodra die reaksie voltooi is en daar nie meer  $\text{CO}_2$  afkom nie, word die oormaat suur geneutraliseer met  $\text{NaOH}$ . Deur 'n indikator fenolftalien by te voeg, kan gevind word wanneer die vloeistof in die meng alkalies raak, met ander woorde wanneer die pienk kleur van die vloeistof verdwyn en die vloeistof kleurloos word.

Die vloeistof word nou gefiltreer en 'n monster van ongeveer 20 ml geneem. Aangesien die kalkinhoud redelik hoog is, is die konsentrasie  $\text{Ca}^+$ -ione nog veels te hoog en word die vloeistof nou presies 20 maal verdun. Hierna is die vloeistof gereed om in die atoom absorpsie apparaat getoets te word.

Tipiese berekenings:

Massa van monster	= 5 g
Massa van monster en beker	= 184,2 g
Massa van monster, beker en vloeistof	= 363,2 g
Massa van vloeistof	= 179,0 g
Lesing van atoom absorpsie	= 0,34
Ooreenstemmende lesing vanaf fig. C.1	= 350
Verdunningsfaktor	= 20 maal
Massa $\text{CaCO}_3 = (100,08 \times 350 \times 179 \times 20 \times 10^{-6}) \div 40,08$	= 3,13 g
Persentasie $\text{CaCO}_3$ in monster	= $(3,13 \times 100) \div 50$ = 63%

(Die molekulêre massas van Ca = 40,8; C = 12 en O = 16.)

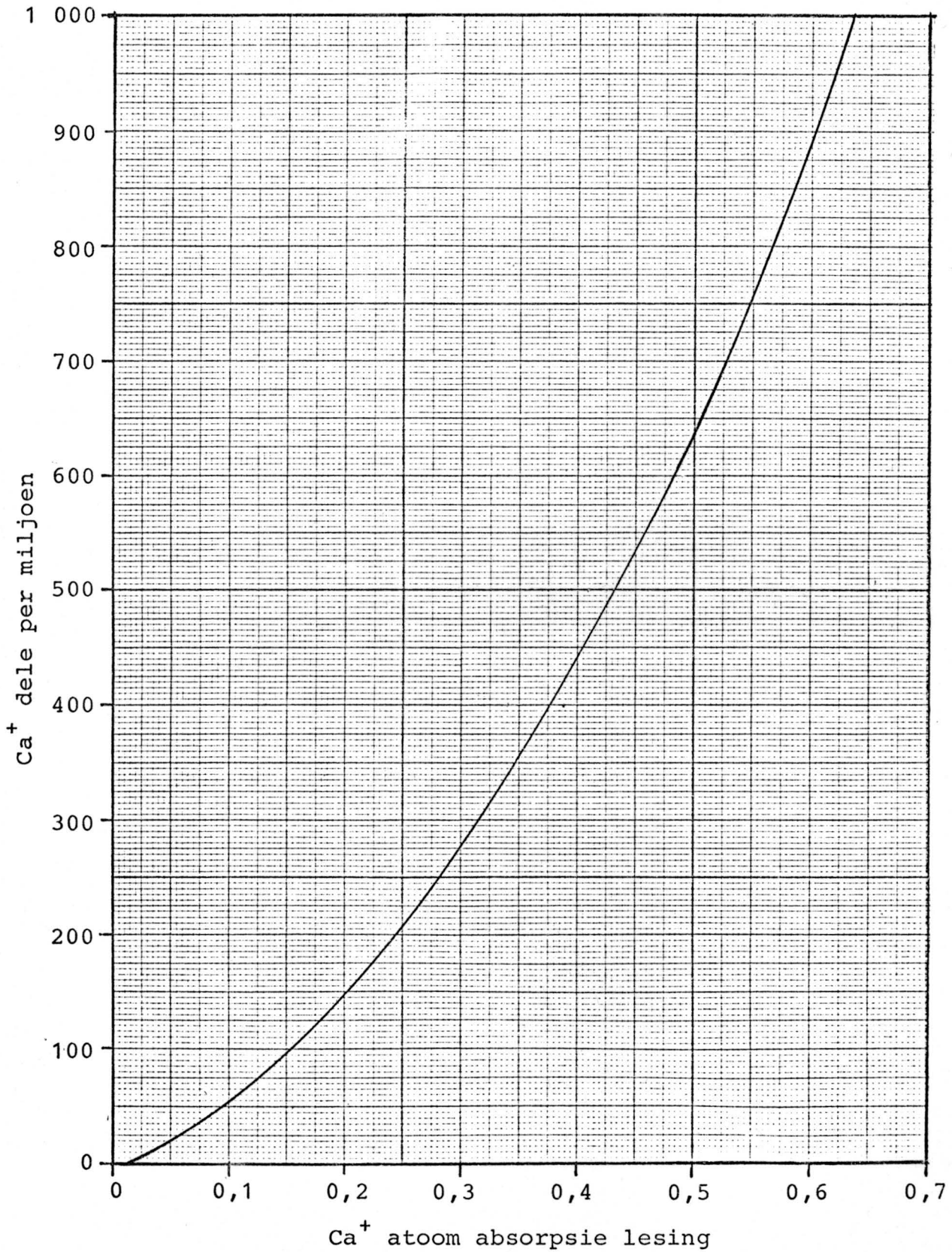
As kontrole, is enkele monsters verhit tot net oor  $850^{\circ}\text{C}$  om die  $\text{CO}_2$  van die  $\text{CaCO}_3$  af te dryf. Die massa  $\text{CO}_2$  wat afgedryf is, is bepaal en daaruit is dan die  $\text{CaCO}_3$  inhoud bereken.

Massa skulp =  $100,08 \div 44 \times$  massa  $\text{CO}_2$  afgedryf. Met die oorspronklike massa bekend, kan die persentasie kalk bepaal word.

Die skulp inhoude soos bepaal deur die handiger atoom absorpsie metode en deur die verbrandingsmetode het met ongeveer 20% verskil. Die atoom absorpsie metode het konstant 20% minder skulp aangetoon as die verbrandings-



proses wat miskien meer akkuraat is. Derhalwe is die atoom absorpsie waardes gekorrigeer met ongeveer 20%. Studente het gehelp met hierdie toets en aangesien dieselfde persoon al die toetse gedoen het, is 'n konstante fout aanvaarbaar. Die syfers toon in elke geval hoe die relatiewe hoeveelhede skulp van plek tot plek wissel en sal geen verskil maak aan die afleidings in paragraaf 2.1.2 en verder nie.



Figuur C.1:  $\text{Ca}^+$  atoom absorpsie teenoor  $\text{Ca}^+$  dele per miljoen.

BYLAE D

Metode vir die bepaling van die chloriede inhoude van sand.



BYLAE DMetode vir die bepaling van die Chloriede inhoude van sand:

'n Sandmonster van 50 g word in 'n fles geplaas, 100 ml gedistilleerde water bygevoeg en die sand en water dan vir 5 minute met 'n meganiese roerder geroer. Die water word nou gefiltreer en 50 ml water afgetrek wat verdun word met nog 50 ml gedistilleerde water sodat die toetsmonster weer 100 ml beslaan. Voeg nou 1 ml kalsiumchromaat by as indikator.

Met behulp van 'n druppipet word nou 'n 0,137 % oplossing van silwernittraat drupsgewys by die 100 ml gevoeg. Op die oomblik wanneer die kleur van die mengsel verander, word vasgestel hoeveel silwernittraat nodig was om die kleurverandering teweeg te bring.

Die konsentrasie chloriedes in die water wat affiltreer was, word dan bepaal met behulp van die volgende formule:

$$Z = \frac{X \cdot 0,0137 \cdot 35450}{Y} \quad \begin{array}{l} \text{d.p.m.} \\ \text{(dele per miljoen)} \end{array} \quad \dots (D.1)$$

Waar:  $Z$  = dele chloriede per miljoen of  $Z \times 10^{-6}$  g/ml;

$X$  = volume silwernittraat bygevoeg;

0,0137 = persentasie silwernittraat oplossing;

35450 = konstante vir die toets;

Y = hoeveelheid water wat afgetrek was van die  
monster - 50 ml.

As die volume water waarin chloriedes opgelos was 100 ml was  
en die konsentrasie chloriedes was Z d.p.m., dan sal die  
hoeveelheid chloriedes in die sand (50 g) =  $100 Z \times 10^{-6}$  g  
wees.

$$\begin{aligned}\text{Dus persentasie chloriedes} &= \frac{100 Z \times 10^{-6}}{50} \times 100\% \\ &= 2 Z 10^{-4} \%\end{aligned}$$

BYLAE E

Bepaling van die spesifieke oppervlakte (SO) van die sande.



## BYLAE E

### Bepaling van die Spesifieke Oppervlakte:

Die apparaat wat gebruik is, was 'n variasie van die Lea en Nurse<sup>10</sup> apparaat wat gebruik word om die SO van die sement te bepaal. Weens die grofheid van die sand in teenstelling met dié van sement, is die permeabiliteits-sel A hoër (langer) gemaak sodat monsters van tot 75 mm gebruik kan word. Die lugvloei stroom moes ook vergroot word en dit is gedoen deur die weerstandsbuis D te vergroot en te verleng.

Manometer B lesing  $h_1$  in figuur E.1, meet die drukverlies oor die monster en manometer C lesing  $h_2$ , moet die lugvloei stroom. Die manometers was gevul met kerosene.

Die vloeimeter is eers gekalibreer deur verskillende lugstrome daardeur te stuur. Die lugstromings is gemeet deur middel van 'n omgekeerde waterge vulde silinder waar die tyd geneem is waaroor 'n sekere volume water verplaas is.

Die weerstand van die gesteunde filtreerpapier is in hierdie geval belangrik en sy invloed moes eers bepaal word. Dit is gedoen deur die filtreerpapier in te sit, die sandmonster weg te laat en dan die toets te doen. Die waardes  $h_1$  is dan vergelyk met lugstromings lesings sodat wanneer die sand teruggeplaas is, die ooreenstemmende  $h_1$  waardes afgetrek kan

word van die werklike lesings soos verkry in die toets. Om seker te maak dat die filtreerpapier nie verstop is nie, is dit na elke 4 - 6 gebruike vervang.

Die Spesifieke Oppervlakte (SO) word dan soos volg bereken:

$$SO = k \sqrt{\frac{h_1}{h_2}} \quad \dots(E.1)$$

$$\text{met } k = \frac{14}{\rho(1-\epsilon)} \sqrt{\frac{\epsilon^3 A}{CL}} \quad \dots(E.2)$$

$$\text{en } C = \frac{Q \eta}{h_2 \rho_k} \quad \dots(E.3)$$

$$\text{en } Q = \frac{V}{t} \frac{P-p}{p} \quad \dots(E.4)$$

waar:  $h_1$  = hoogte verskil in cm in manometer B;

$h_2$  = hoogte verskil in cm in vloeimeter C;

$\rho$  = relatiewe digtheid van sand  $\text{g/cm}^3$ ;

$\epsilon$  = porositeit van die sand volume tussenruimtes per totale volume;

$A$  = deursnee oppervlakte in  $\text{cm}^2$  van die sand in die permeabiliteit;

$L$  = hoogte of lengte van die sandmonster;

$Q$  = volume droë lug deurgelaat in  $\text{cm}^3/\text{sek.}$ ;

$\eta$  = viskositeit van lug in c.g.s. eenhede, byvoorbeeld  $1,80 \times 10^{-4}$  by  $20^\circ\text{C}$ ;

$\rho_k$  = digtheid van kerosene ( $0,797 \text{ g/cm}^3$ );  
 $V$  = gemete volume vogtige lug;  
 $P$  = atmosferiese druk (bv.  $748,7 \text{ mm Hg}$ );  
 $p$  = dampdruk by kamertemperatuur (bv.  $17,5 \text{ mm Hg}$  by  $20^\circ\text{C}$ );  
 $t$  = tyd waarin lug opgevang is;

#### Bepaling van die konstante C:

Kry eers die verhouding van Q-waardes (vergelyking E.4), vir verskillende  $V$ ,  $t$  en  $h_2$  waardes en stel dan die Q-waardes in vergelyking (E.3) en bepaal die gemiddelde C-waarde.

'n Gemiddelde van  $C = 0,6685 \times 10^{-4}$  is vir 'n reeks toetse gevind. Vir 'n sekere monster sal  $\rho$ ,  $\epsilon$ ,  $A$  en  $L$  bekend wees en kan  $k$  bereken word van vergelyking (E.2). Die SO volg dan uit vergelyking (E.1).

Enkele waardes soos verkry met behulp van hierdie apparaat is vergelyk met dié verkry van die metode waarvolgens die SO van sferie tussen sifgroottes gekorrigeer word met 'n faktor  $K$  ten opsigte van rofheid en vorm. Die waardes het baie goed met mekaar vergelyk en getoon dat hierdie metode aanvaarbaar is veral vir fyner sande. Aangesien die waardes van  $K$  in die berekeningsmetodes meestal na goeddunke geskat en vergelyk word met bekende vormwaardes, moet die meer wetenskaplike bepalinge van SO voorkeur geniet. Al die SO-



toetse is met dieselfde apparaat gedoen sodat die waardes met mekaar vergelyk kan word.

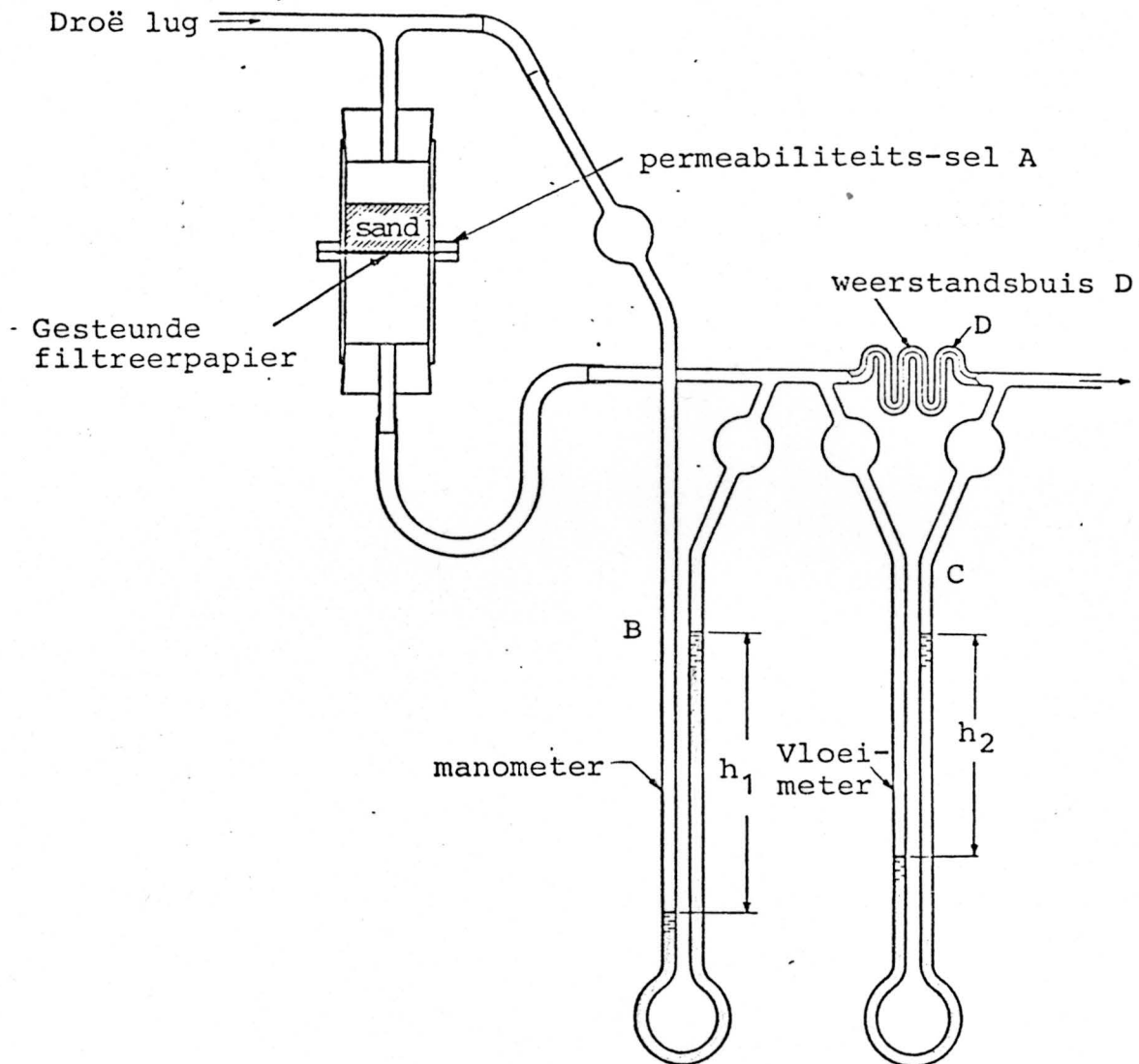


Fig. E.1: Permeabiliteits apparaat met manometer en vloeimeter.

BYLAE F

Mikroskoop ondersoeke en die Pettijohn skaal en fotos van 'n paar monsters.

BYLAE FMikroskoop ondersoeke en die Pettijohn skaal:

Al die sandmonsters is deur 'n mikroskoop met 'n vergroting van 8 - 10 maal bestudeer. Hierdie vergroting was baie geskik vir dié doel omdat korrels in hul geheel en 'n hele aantal tegelyk, gesien word. Die sandkorrels is eers vasgeplak aan kleurlose kleefband deur die gomkant van die kleefband op die sand te druk. Een laag korrels word dus aan die kleefband geheg wat die instelling van die mikroskoop vergemaklik. As rugsteun vir die behandelde kleefband is gewone mikroskoop glasplaatjies gebruik.

Die onderste linkerhandse hoek van 'n vierkant word met syfers beskryf deur eers die horisontale (gerondheid) waarde te gee en dan die vertikale (rondheid) waarde te gee. Die vorm van die korrel in die betrokke blokkie is dan veronderstel om ooreen te stem met die vorm van die gemiddelde korrel wat beskryf moet word.



Aanhangsel F - Die Pettijohn skaal.

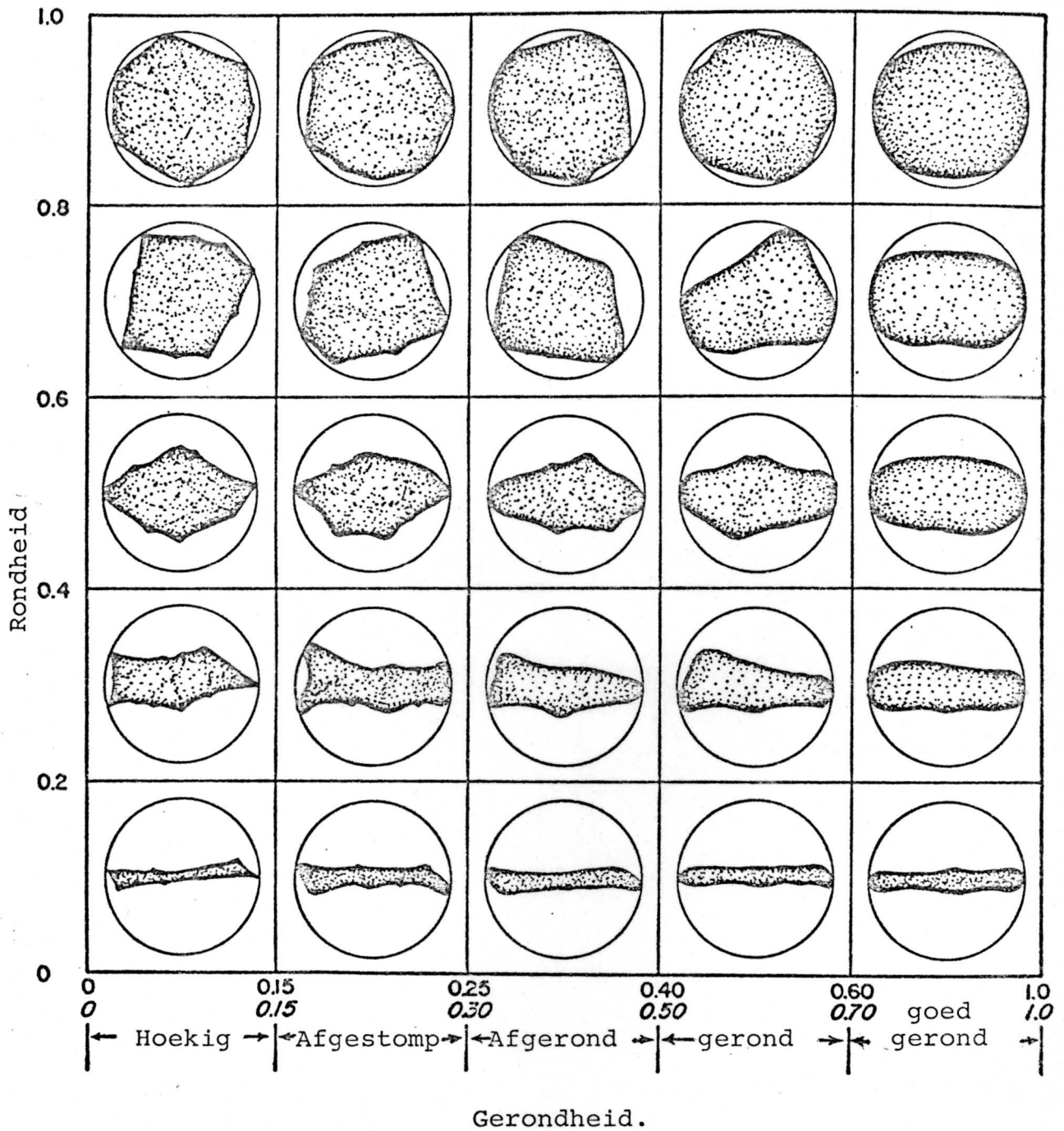


Fig. F.1: Die Pettijohn skaal van Gerondheid teenoor Rondheid. Die vertikale syfers is dié van Pettijohn terwyl Russel en Taylor voorkeur gee aan die skuins syfers.





Fig. F.2: Superfyn sand gebruik - bron 3C duinsand.

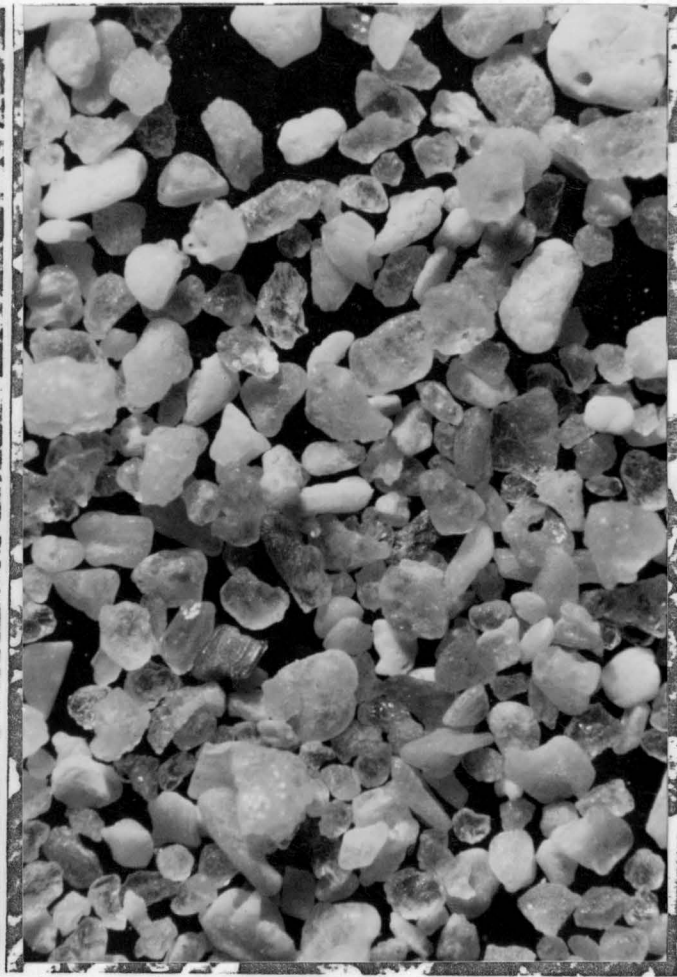


Fig. F.3: Valsbaaikus - bron 4D duinsand.

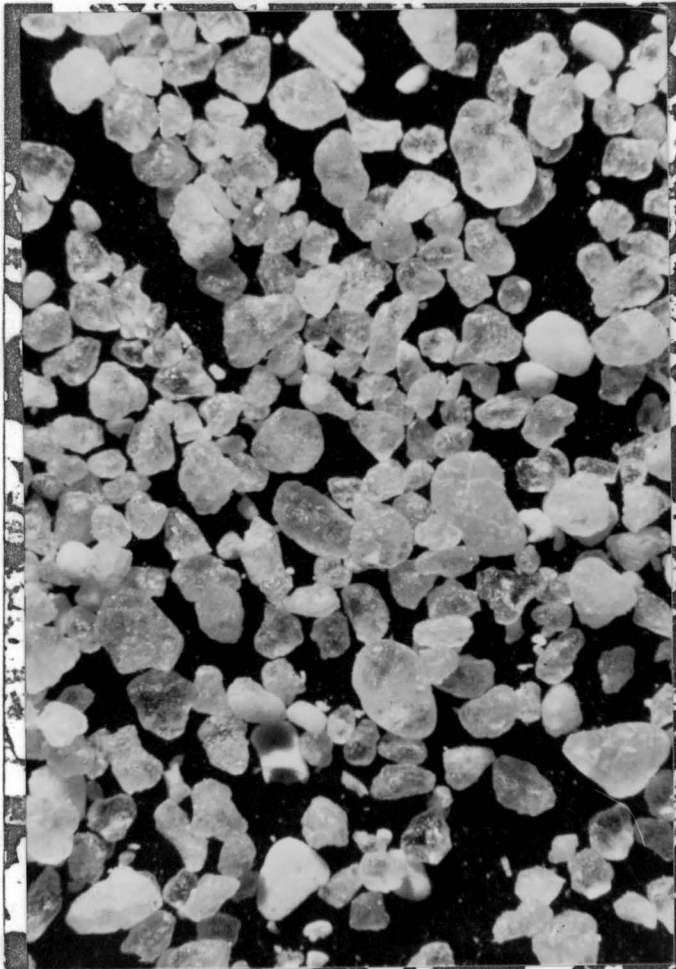


Fig. F.4: Valsbaaikus - bron 6B strandsand.



Fig. F.5: Noord Skiereiland - bron 12C duinsand. Let op na spicule-naalde.





Fig. F.6: Noord Skiereiland - bron 12C Duinsand - Let op na spicule-naalde.

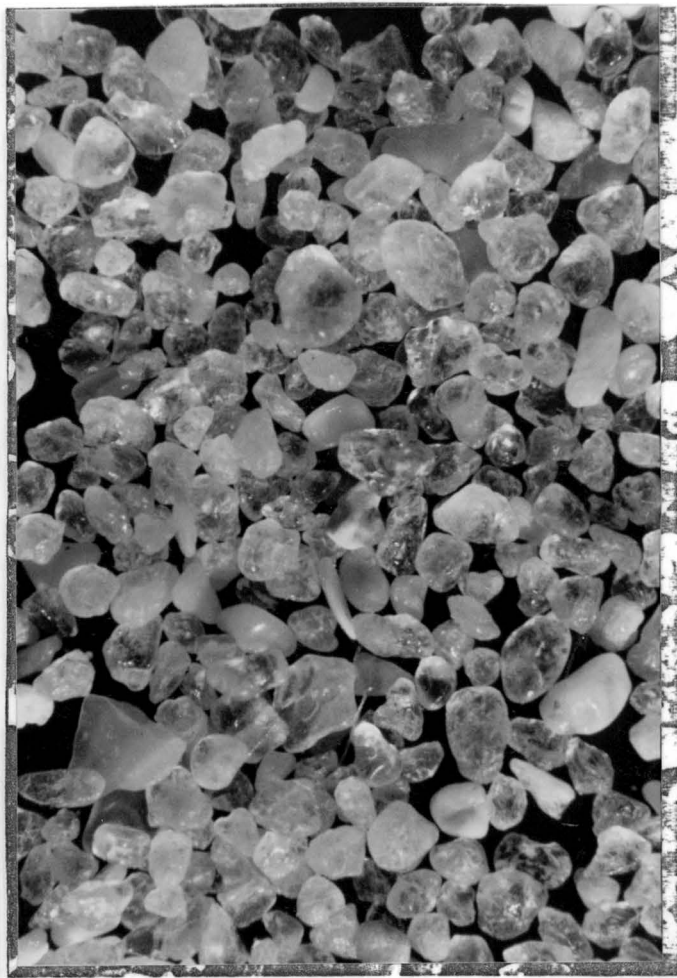


Fig. F.7: Weskussand - bron 17B - strandsand - meer gerond as Valsbaaisand.

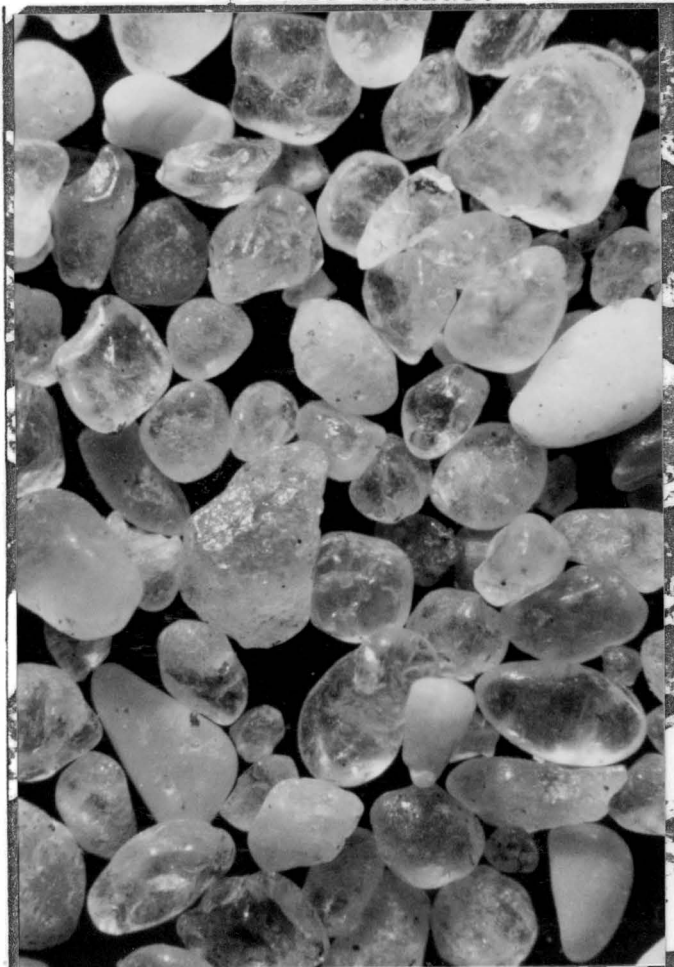


Fig. F.8: Weskussand - bron 19C duinsand - meer gerond as Valsbaaisand

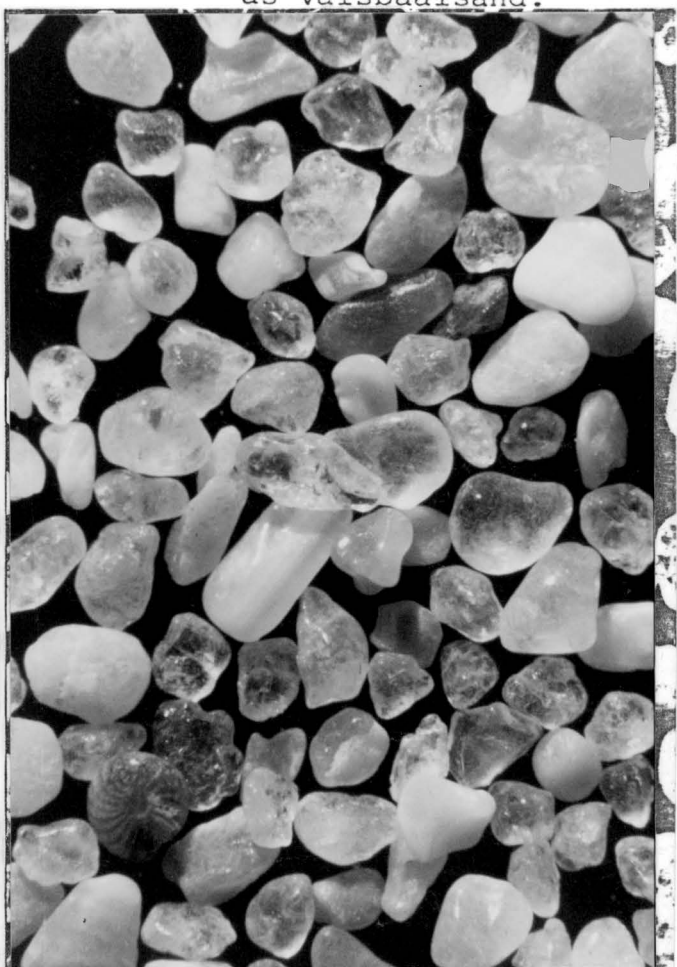


Fig. F.9: Weskussand - bron 25D Duinsand - weg van kus - meer gerond.



BYLAE G

Graderingskurwes.

Bylae G - Graderingskurwes.

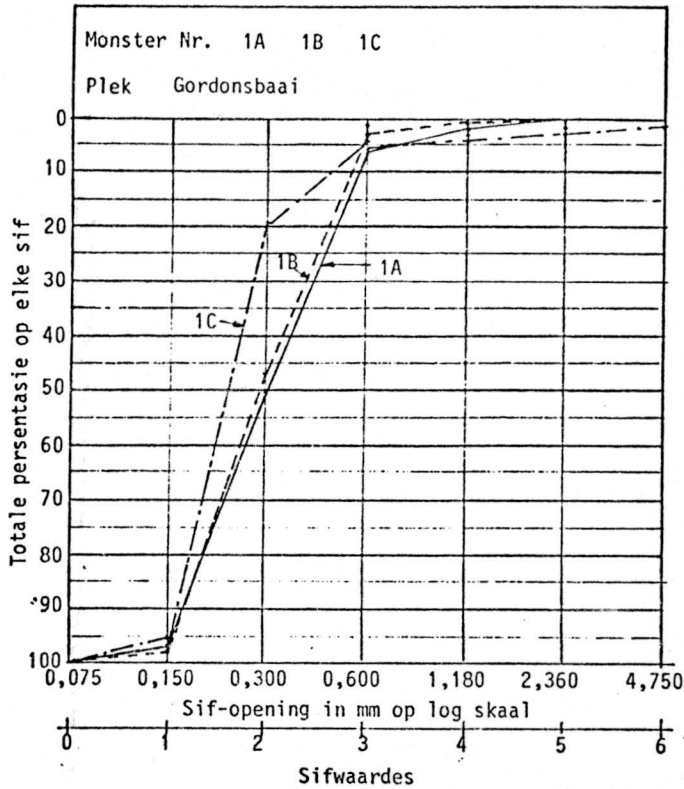


Fig. G.1

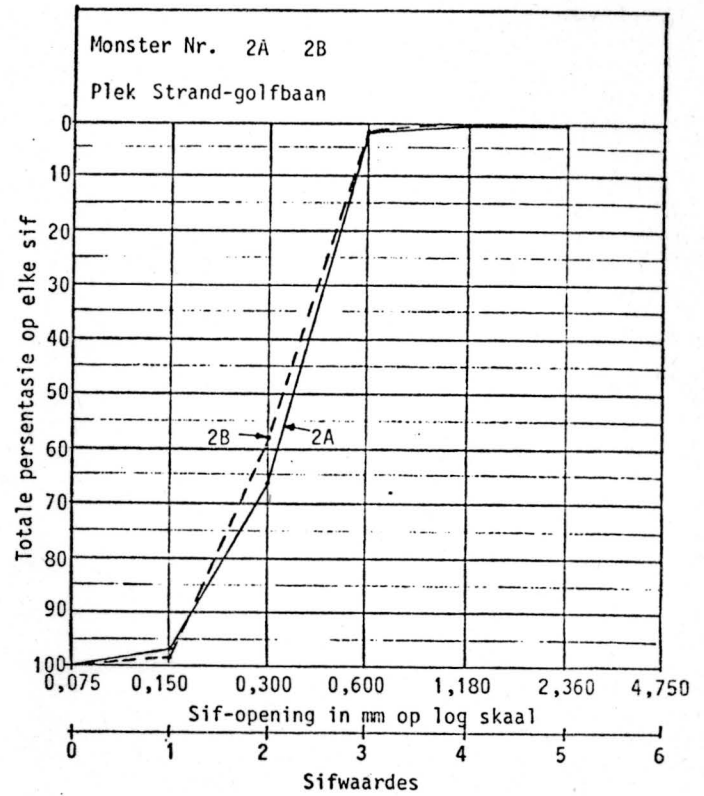


Fig. G.2

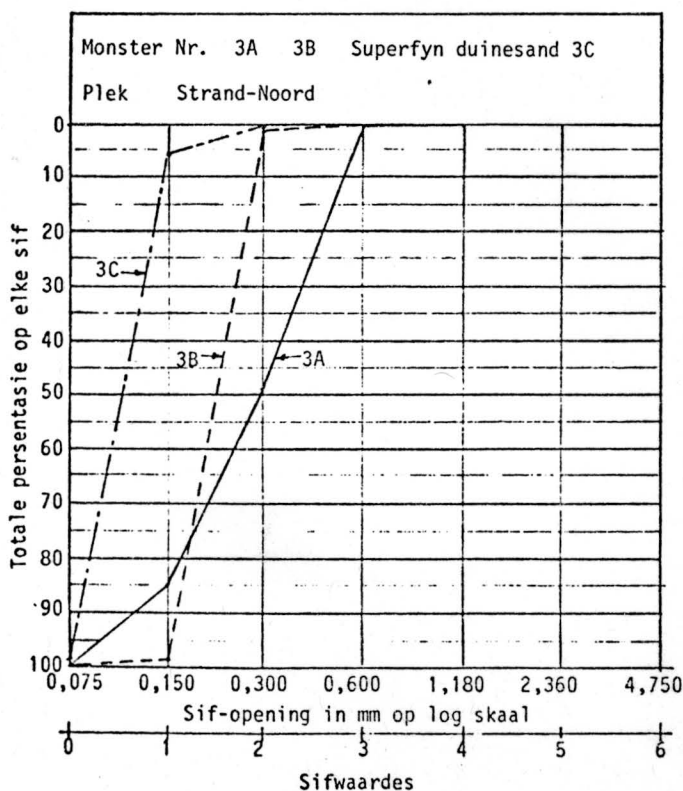


Fig. G.3

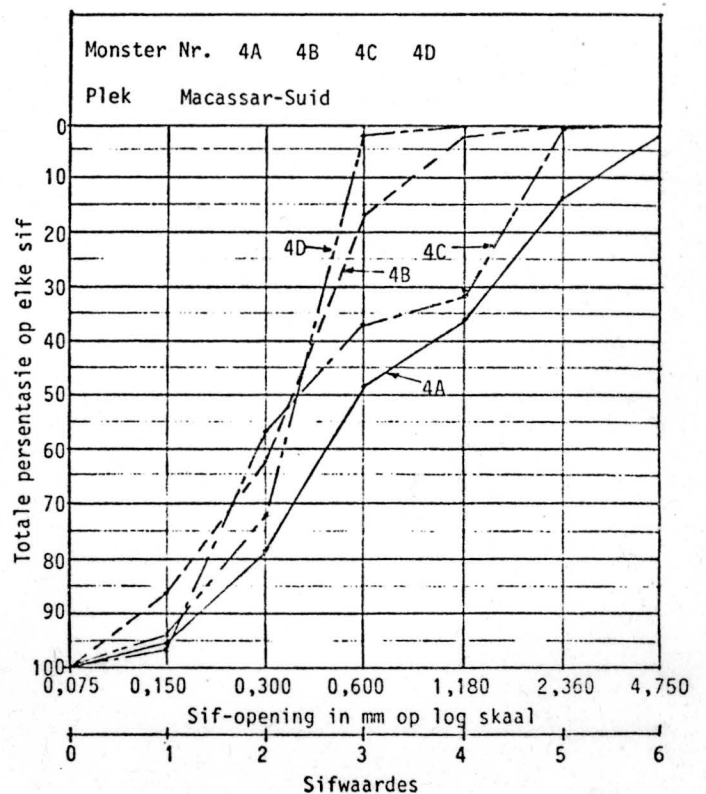


Fig. G.4

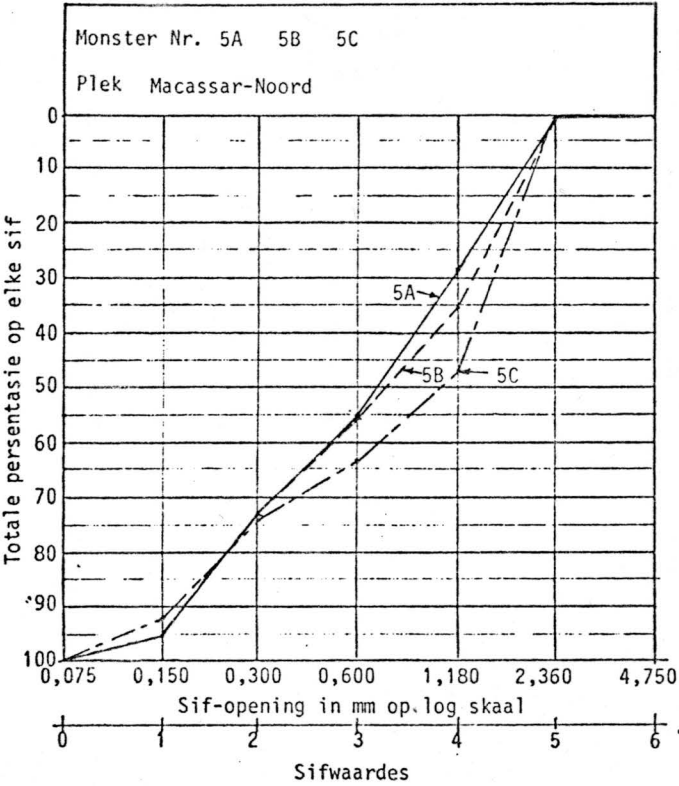


Fig. G.5

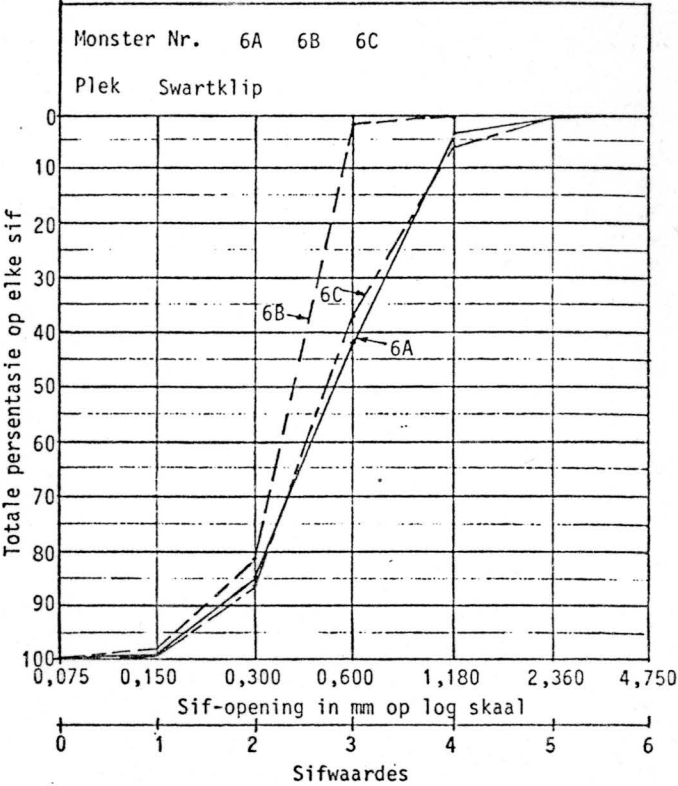


Fig. G.6

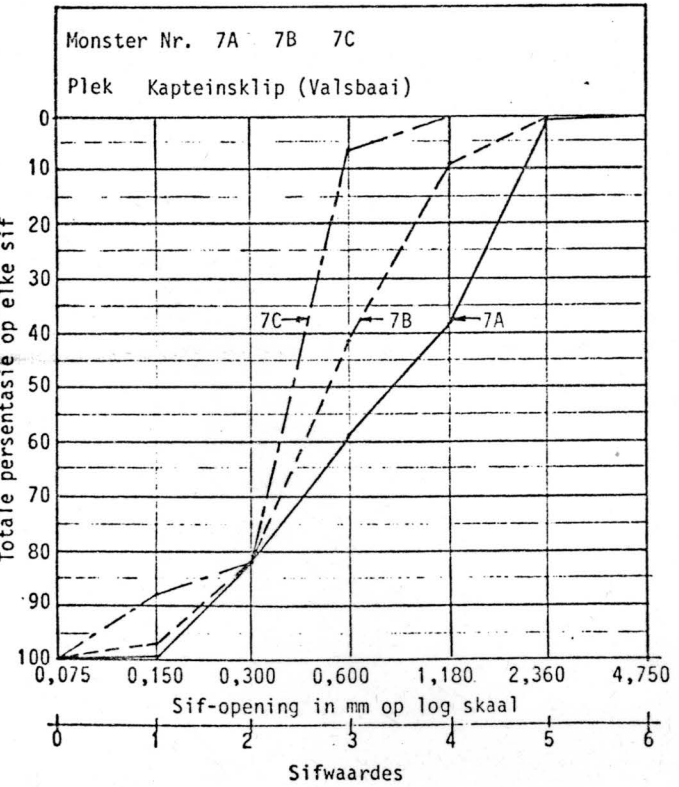


Fig. G.7

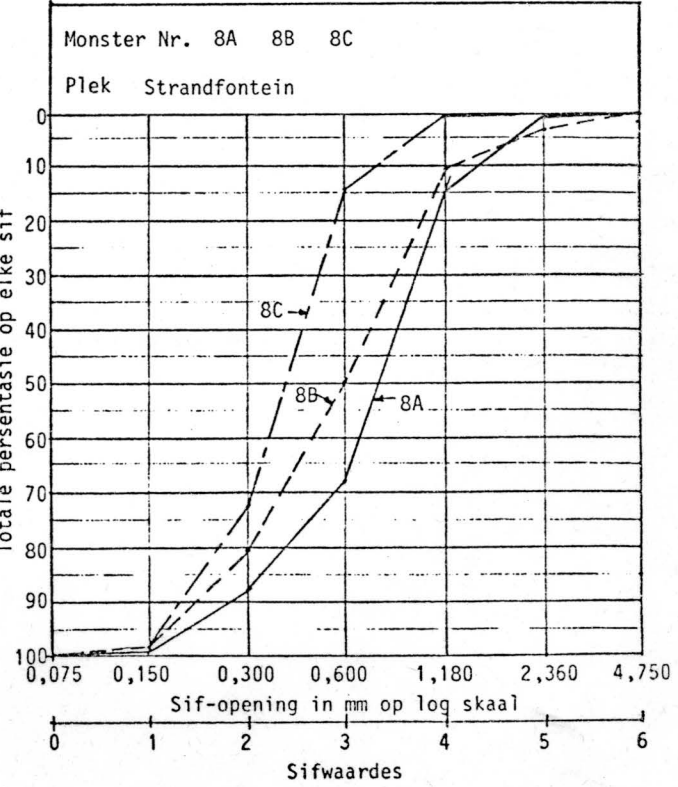


Fig. G.8



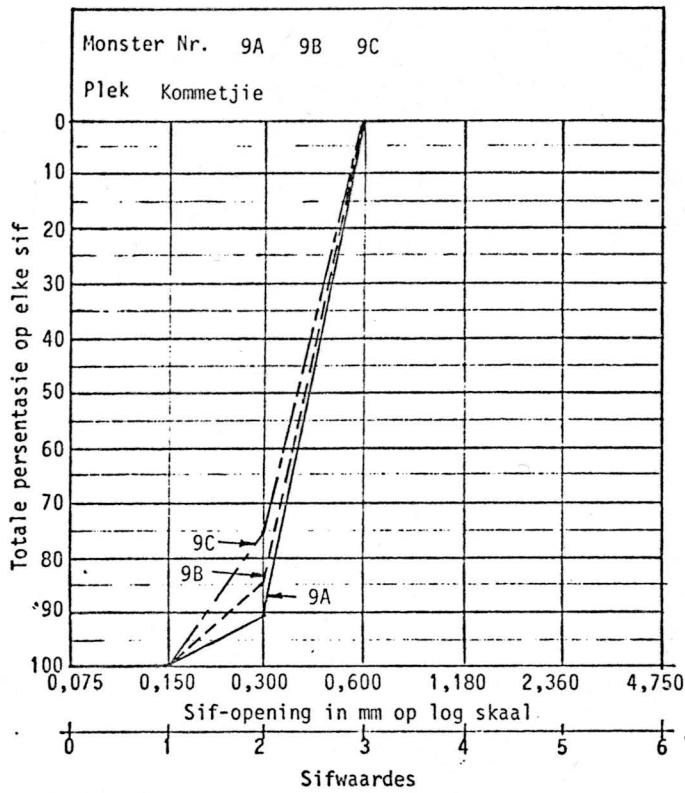


Fig. G.9

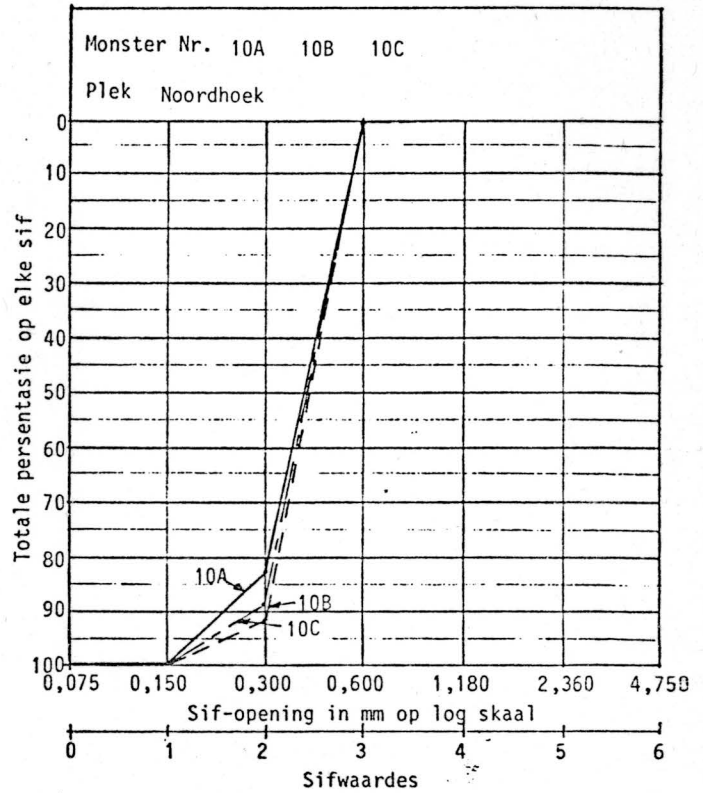


Fig. G.10

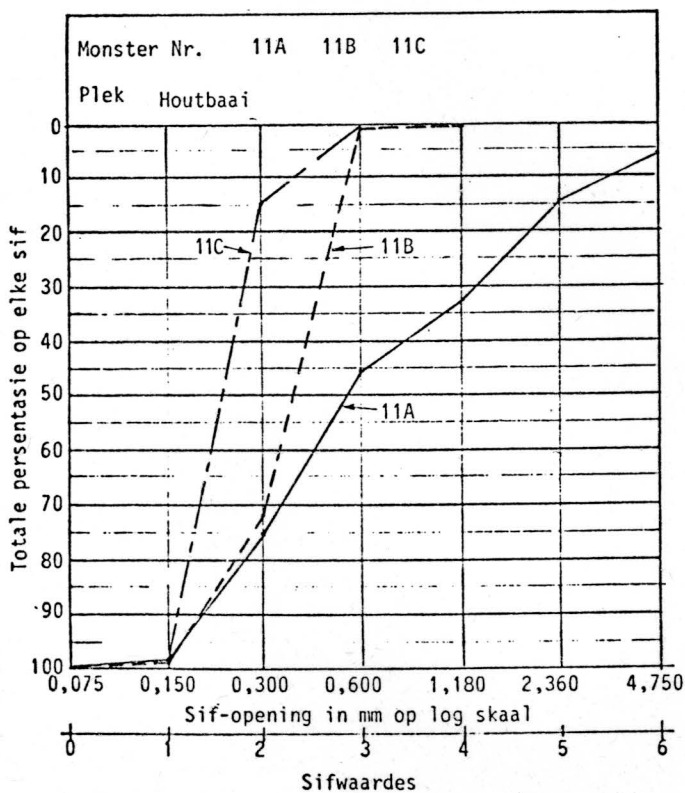


Fig. G.11

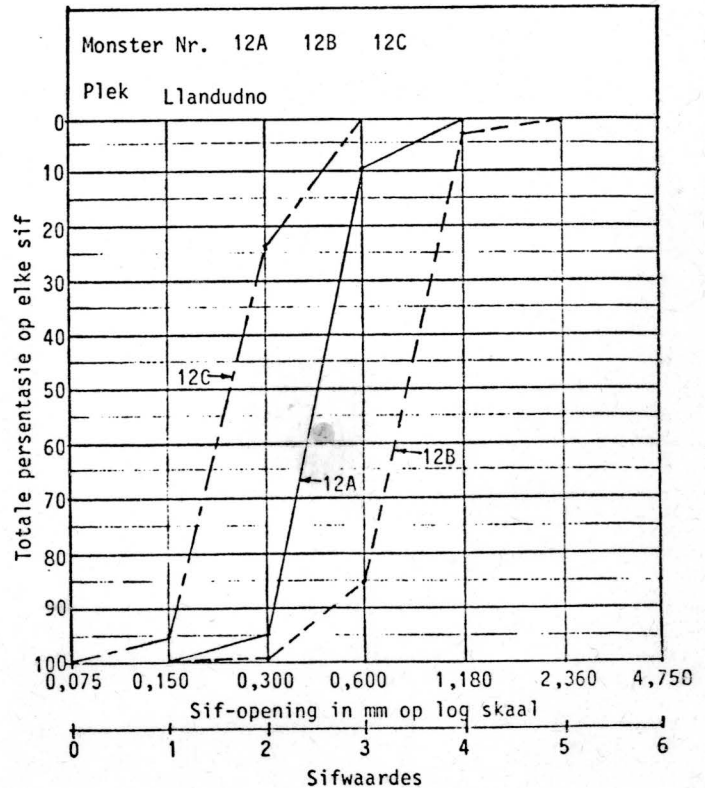


Fig. G.12

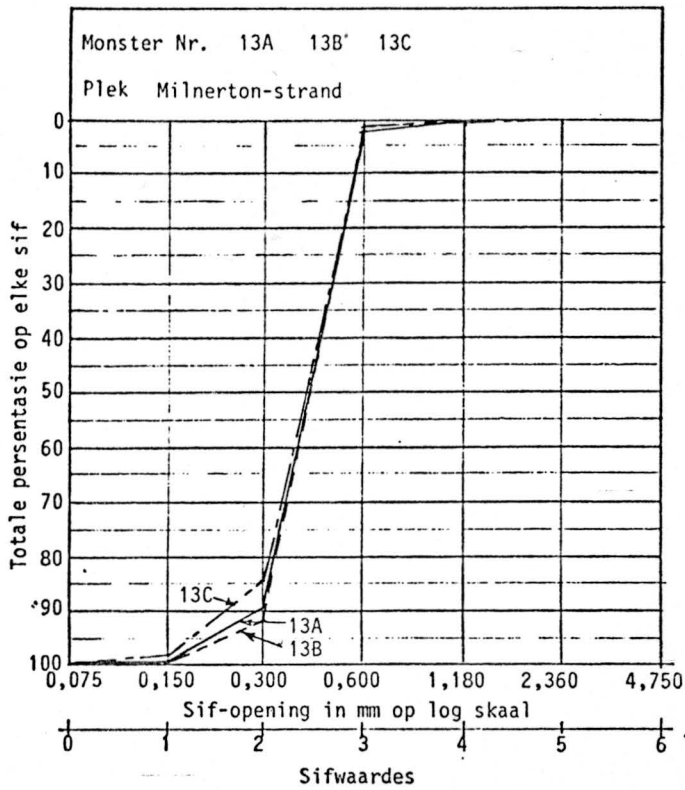


Fig. G.13

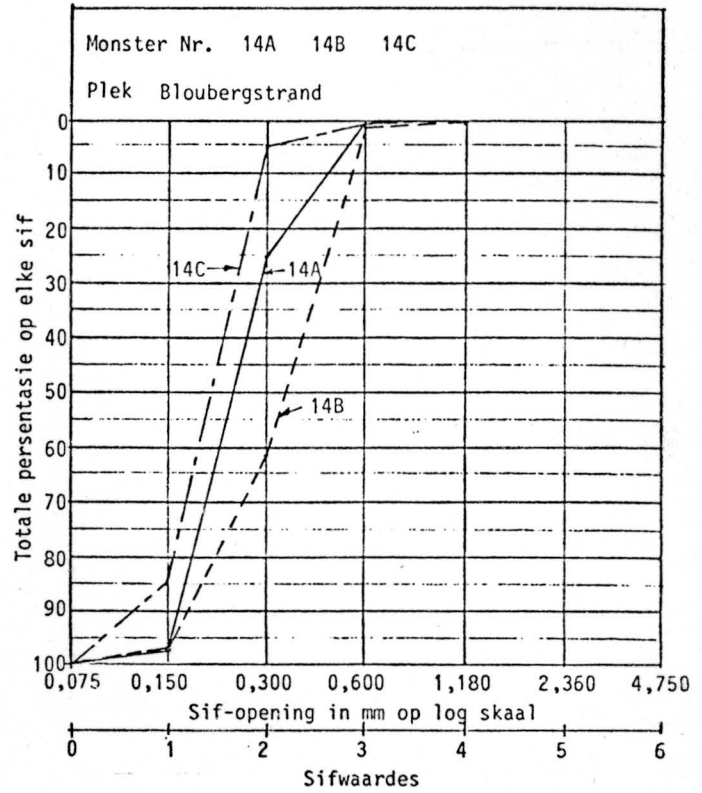


Fig. G.14

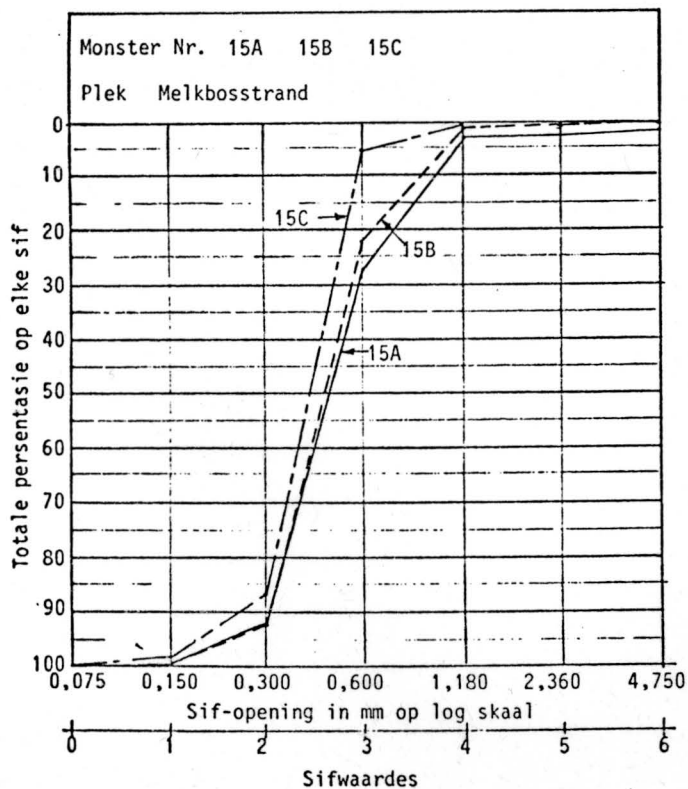


Fig. G.15

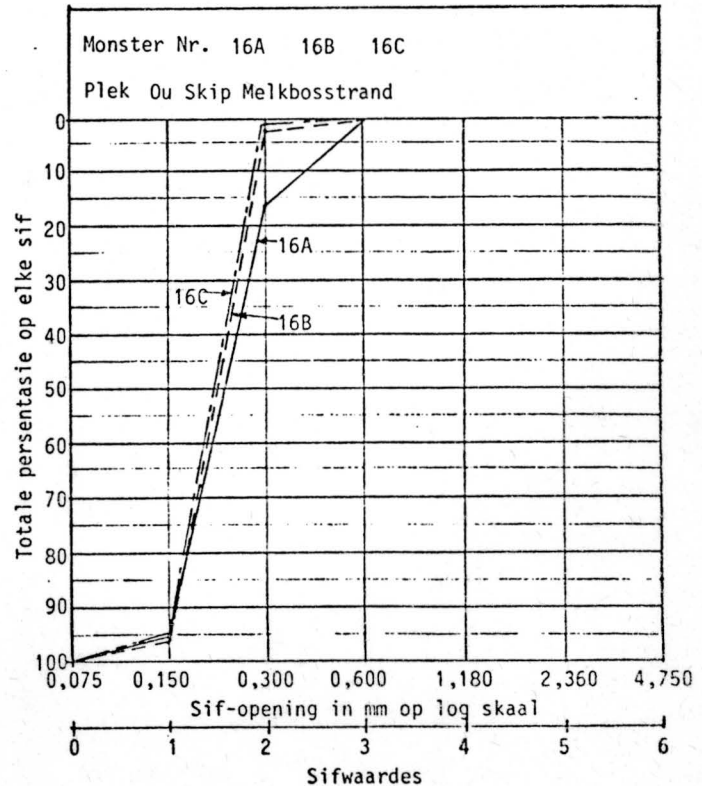


Fig. G.16



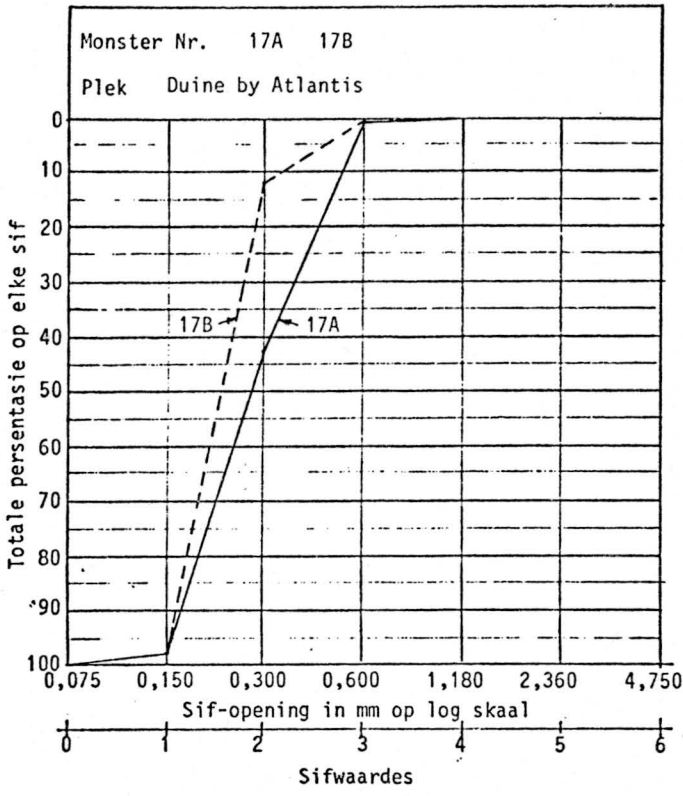


Fig. G.17

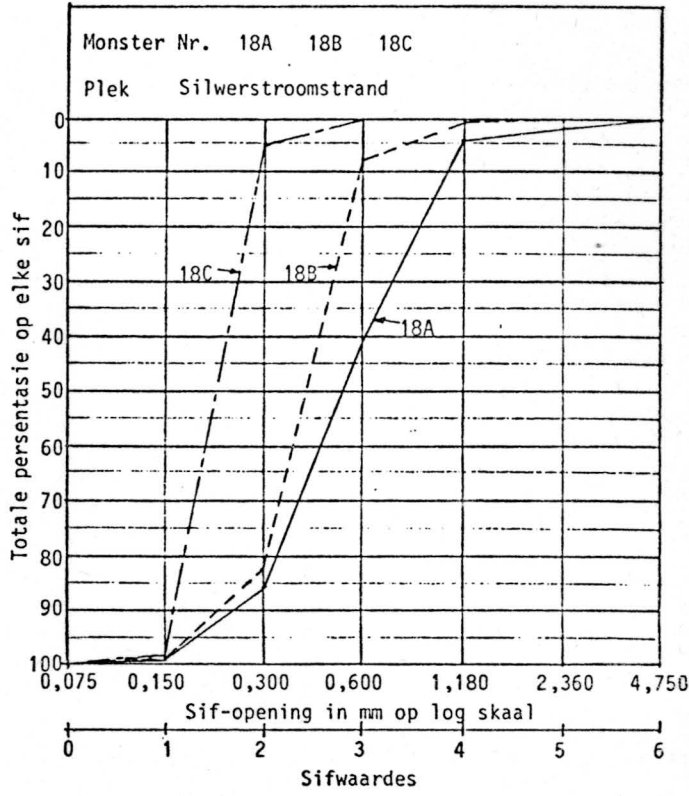


Fig. G.18

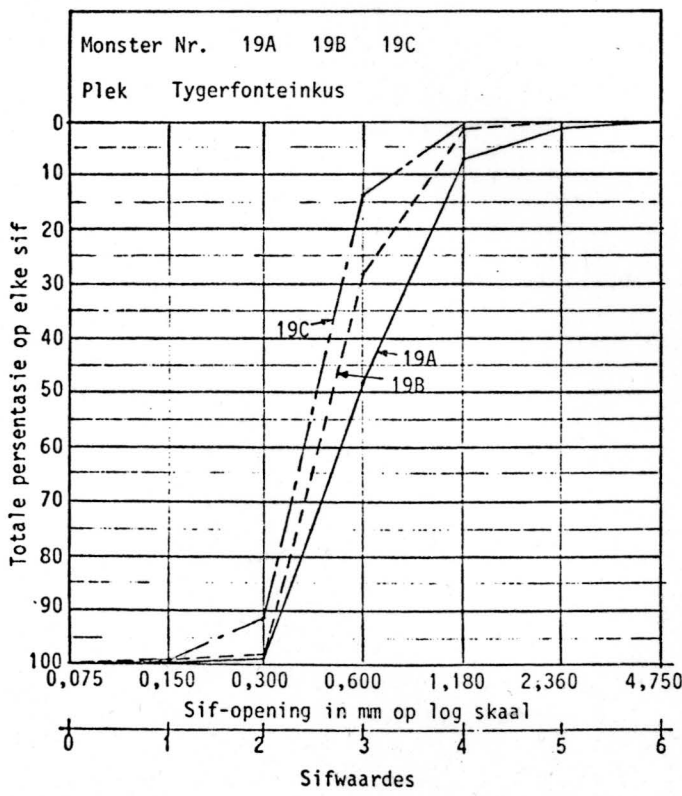


Fig. G.19

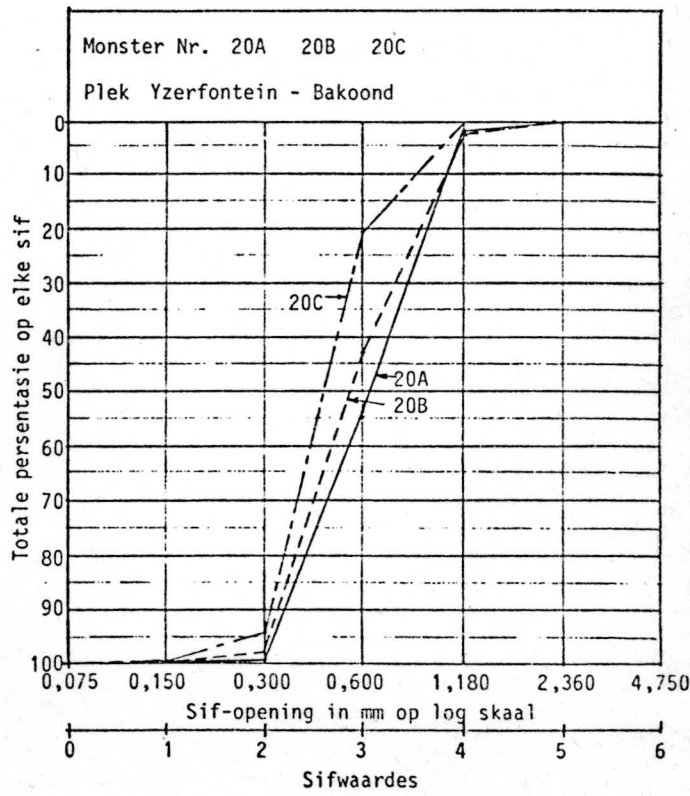


Fig. G.20



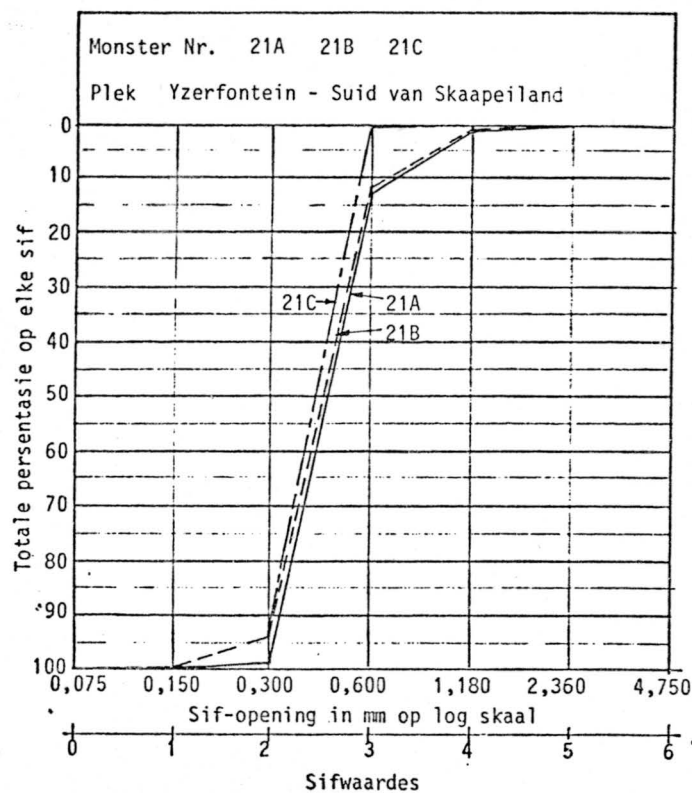


Fig. G.21

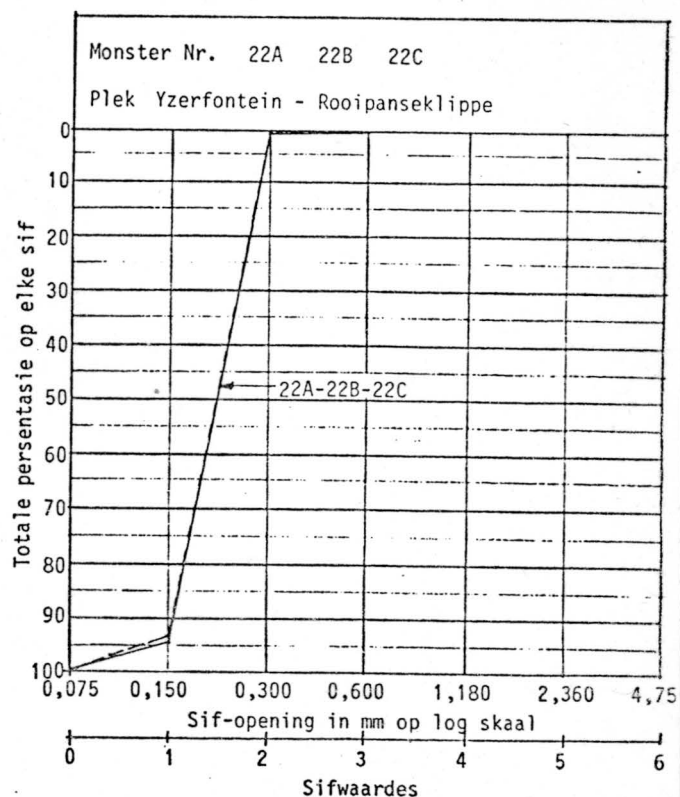


Fig. G.22

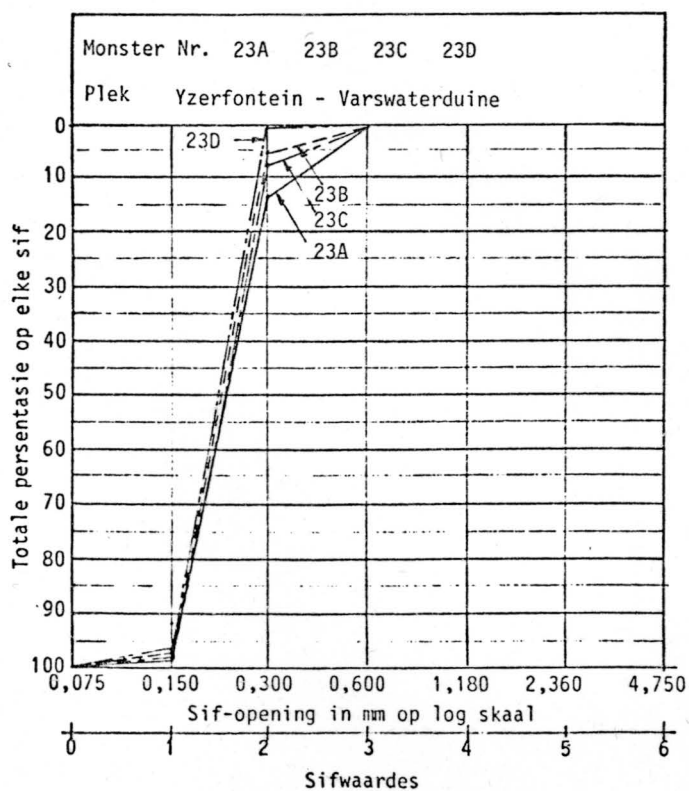


Fig. G.23

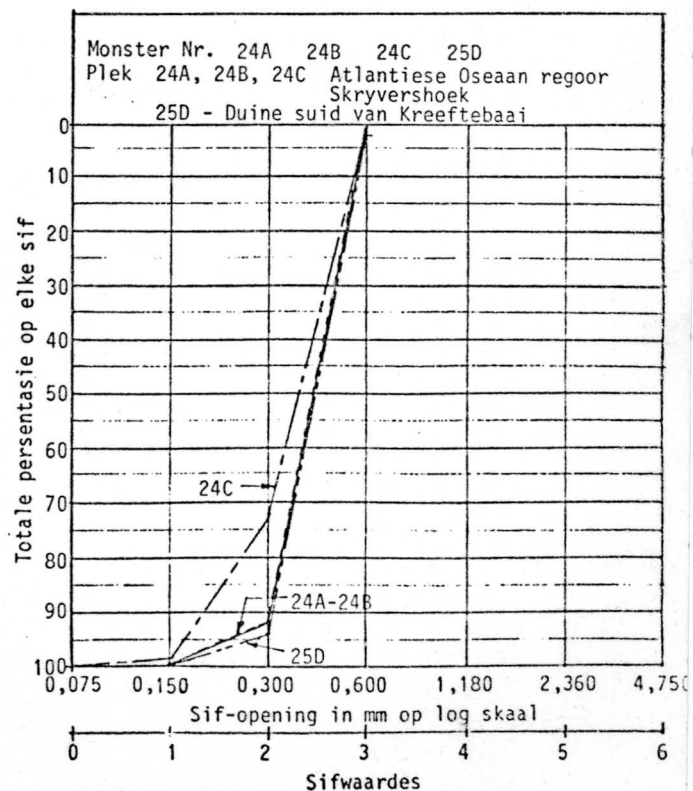


Fig. G.24

BYLAE H

Graderingskurwes van die materiale wat gebruik is.

Aanhangsel H

Sif grootte mm	Persentasie op elke sif	Totale persentasie wat nie deur sif gaan nie
38 19		
9,5 4,75	0,81	0,81
2,36 1,18	6,48 27,81	7,29 35,10
0,600 0,300	27,10 21,05	62,20 83,25
0,150 0,075	9,65 7,10	92,90 100,00
Fynheidsmodulus 2,82		

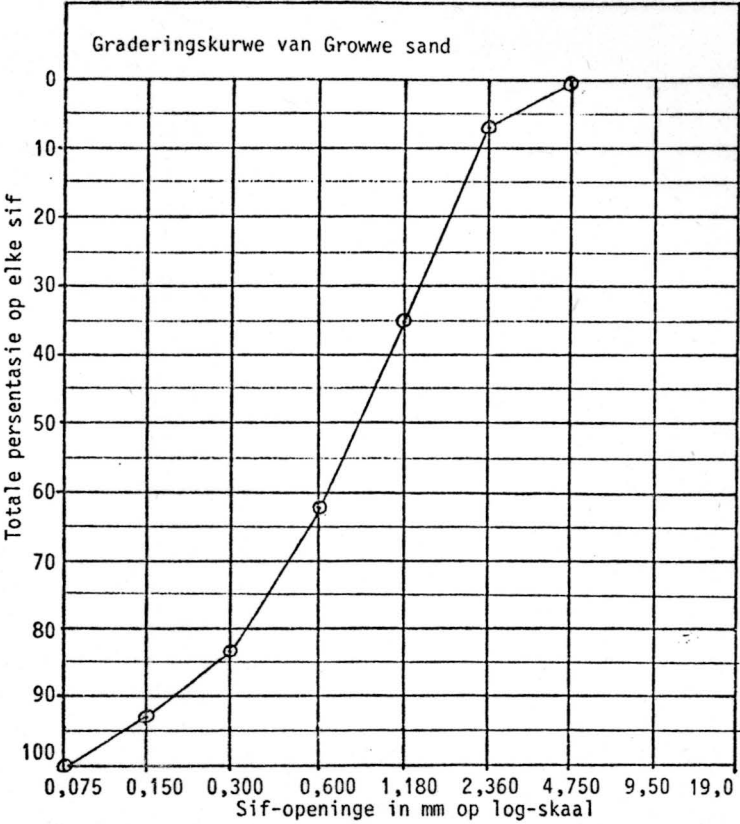


Fig. H.1: Gradering van growwe sand.

Sif grootte mm	Persentasie op elke sif	Totale persentasie wat nie deur sif gaan nie
38 19		
9,5 4,75		
2,36 1,18		
0,600 0,300	0,18	0,18
0,150 0,075	5,81 92,40	5,99 98,39
Fynheidsmodulus 0,062		

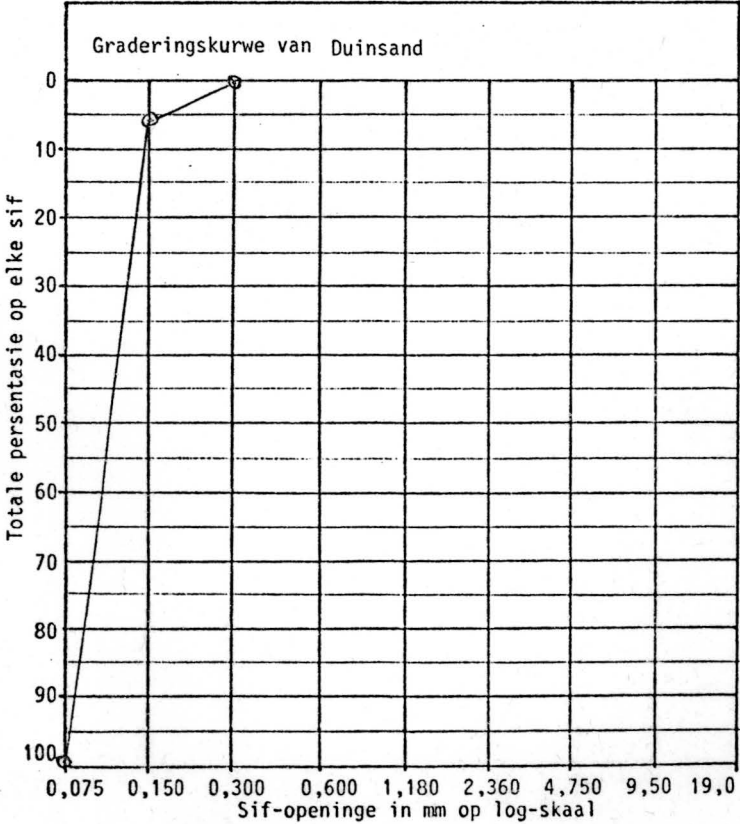


Fig. H.2: Gradering van superfyn duinsand.



Sif grootte mm	Persentasie op elke sif	Totale persentasie wat nie deur sif gaan nie
38 19		
9,5 4,75	64,20	64,20
2,36 1,18	34,34 1,11	98,54 99,65
0,600 0,300	0,17 -	99,82 99,82
0,150 0,075	- 0,18	99,82 100,00
Fynheidsmodulus		

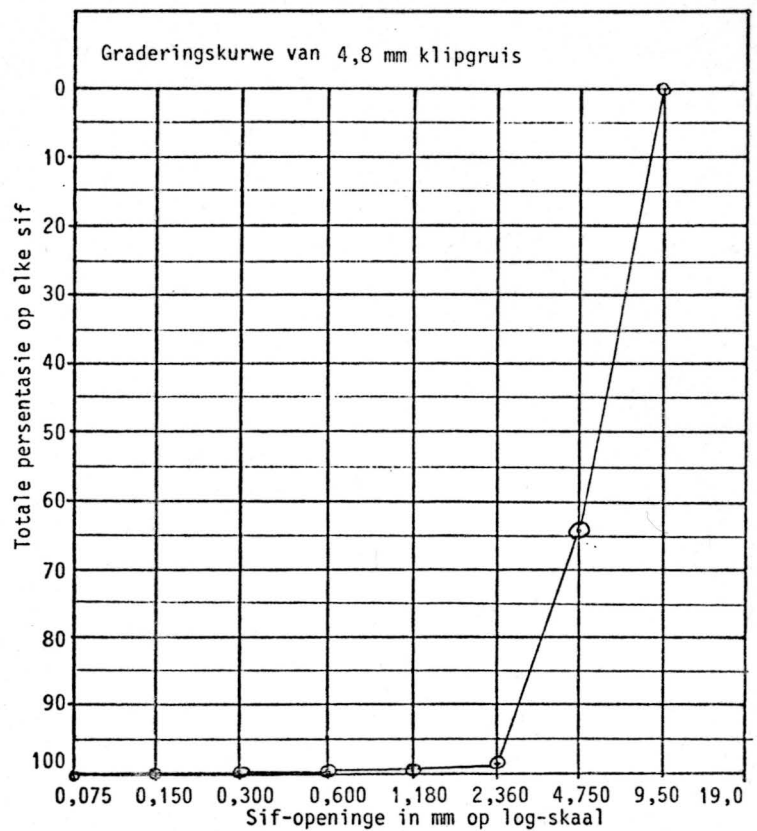


Fig. H.3: Gradering van 4,8 mm klipgruis.

Sif grootte mm	Persentasie op elke sif	Totale persentasie wat nie deur sif gaan nie
38 19		
9,5 4,75	81,03 18,91	81,03 99,94
2,36 1,18		
0,600 0,300		
0,150 0,075	0,06	100,00
Fynheidsmodulus		

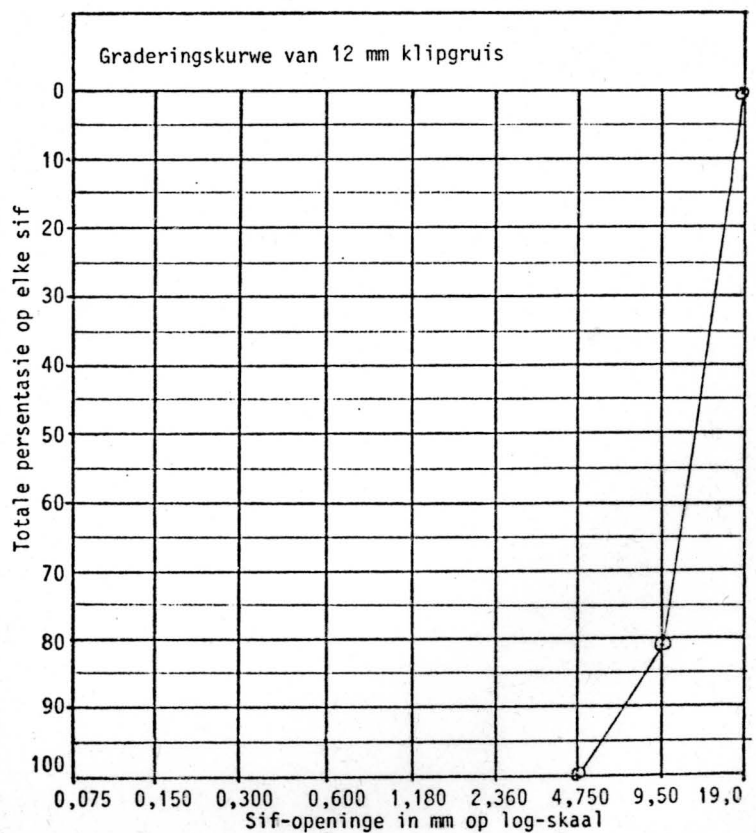


Fig. H.4: Gradering van 12 mm klipgruis.

Sif grootte mm	Persentasie op elke sif	Totale persentasie wat nie deur sif gaan nie
38		
19	8,87	8,87
9,5	87,90	96,77
4,75	3,06	99,83
2,36	0,07	99,90
1,18		
0,600		
0,300		
0,150		
0,075	0,09	100,00
Fynheidsmodulus		

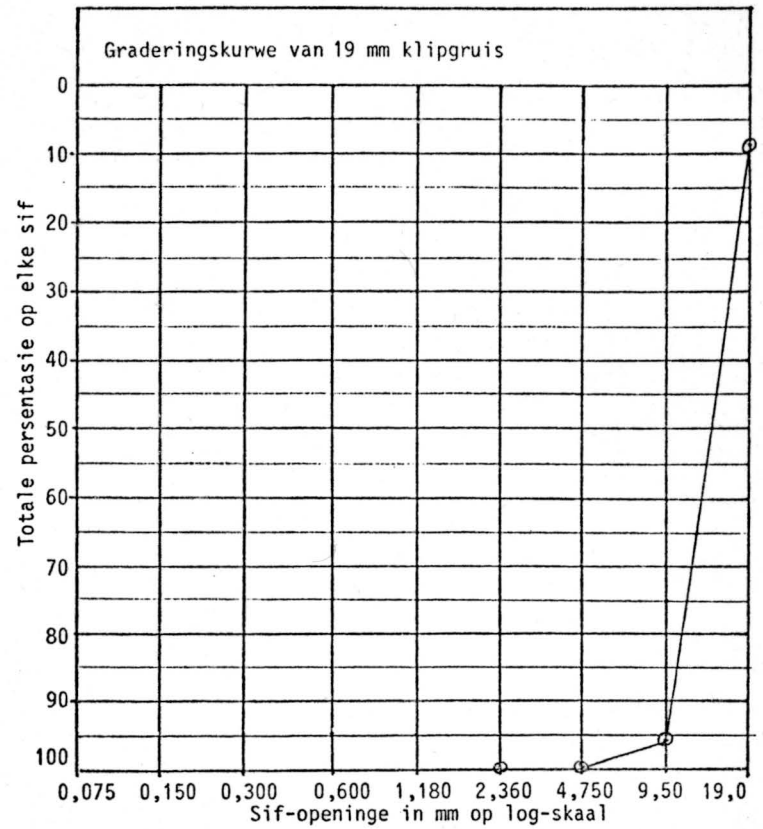


Fig. H.5: Gradering van 19 mm klipgruis.

BYLAE J

Verpakkingskurwes.



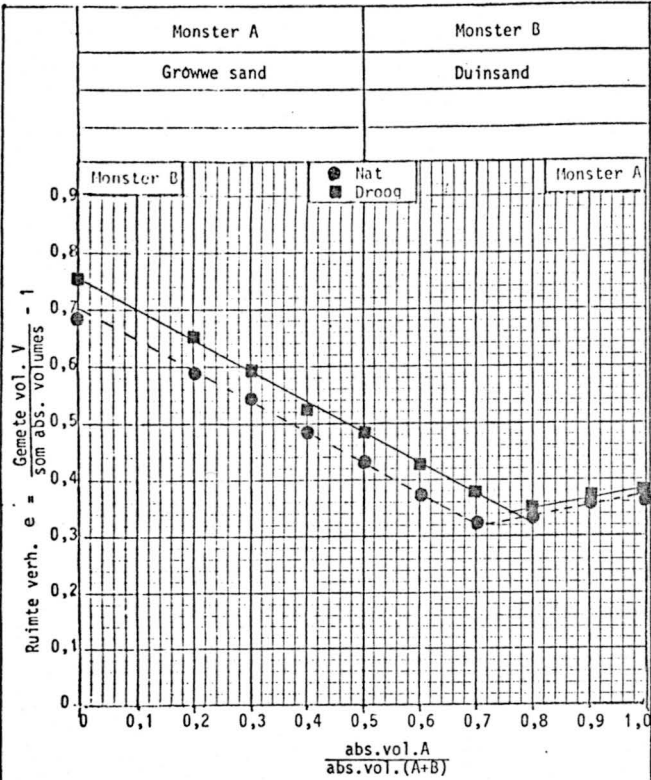


Fig. J.1: Meng van growwe sand en duinsand.

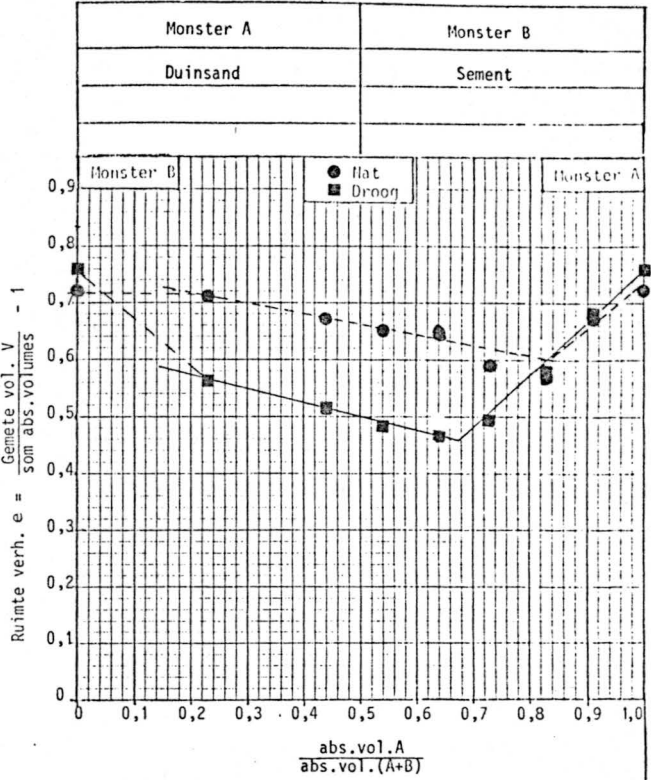


Fig. J.2: Meng van duinsand en sement.

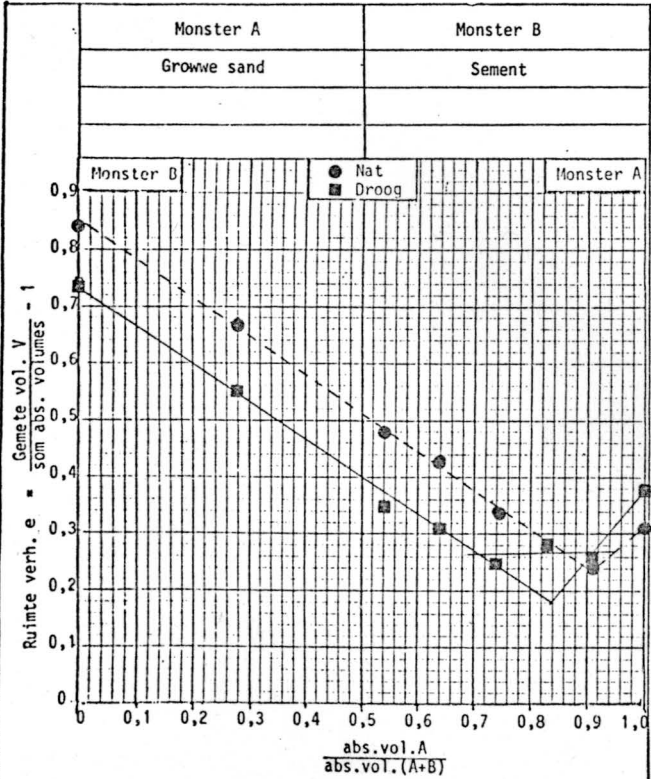


Fig. J.3: Meng van growwe sand en sement.

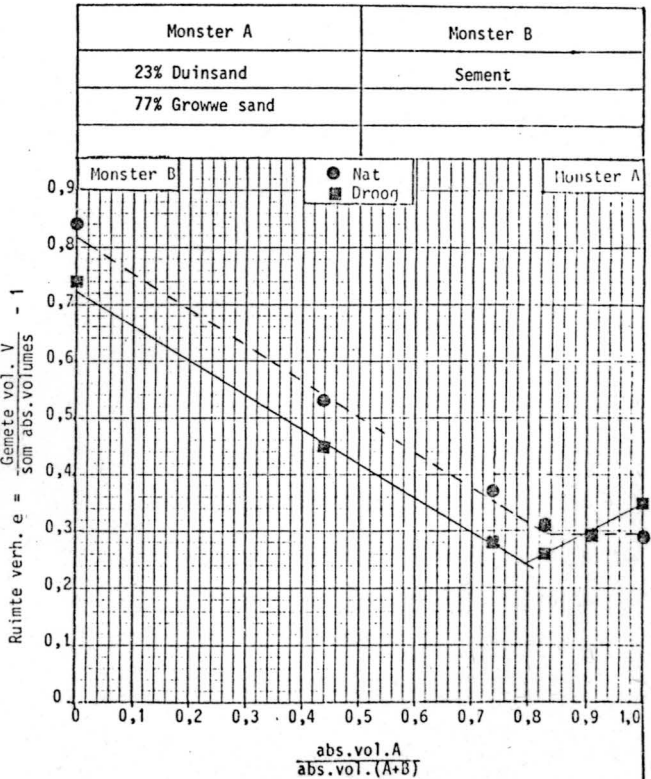


Fig. J.4: Meng van optimum duinsand en growwe sand gemeng met sement.



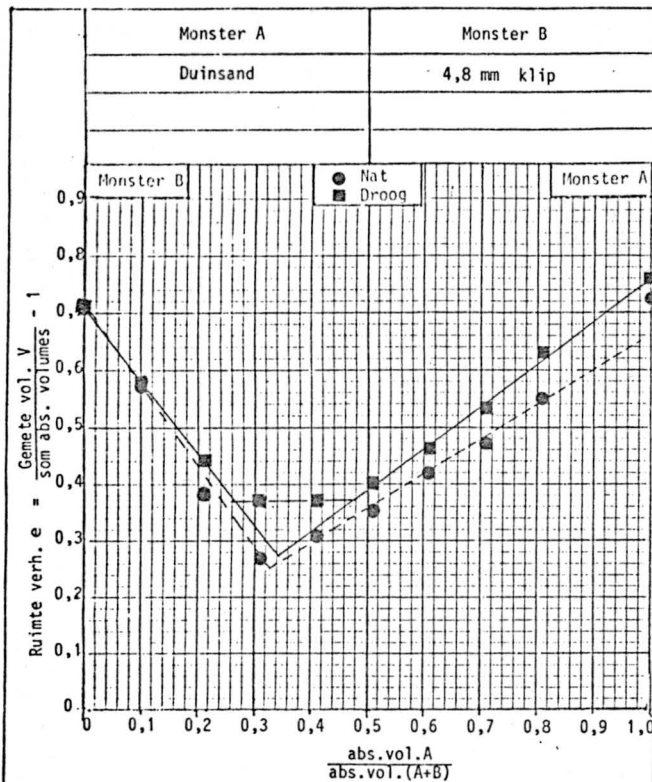


Fig. J.5: Menge van duinsand en 4,8 mm klip.

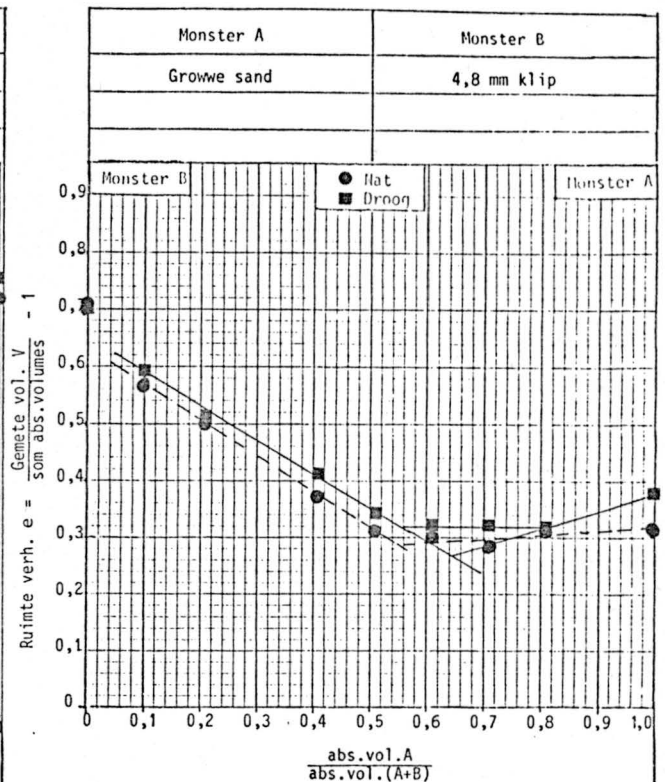


Fig. J.6: Menge van growwe sand en 4,8 mm klip.

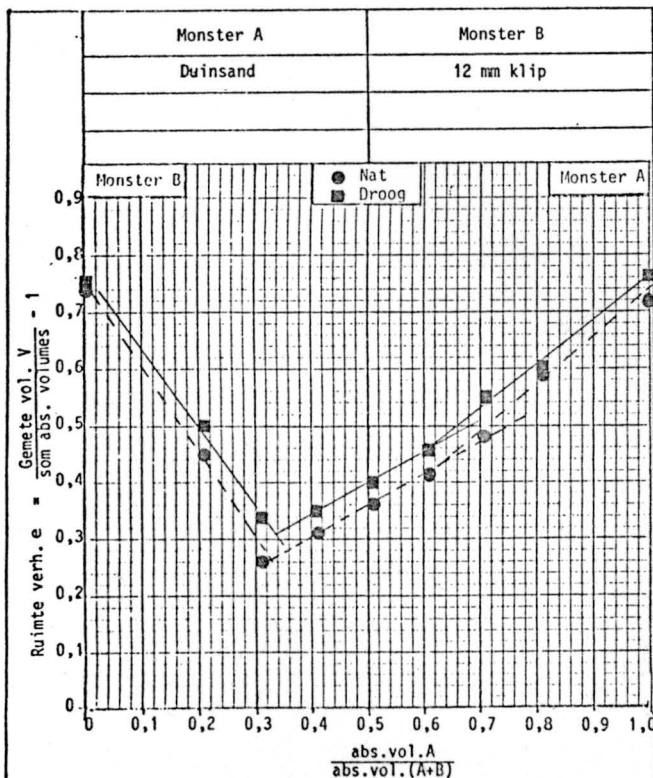


Fig. J.7: Menge van duinsand teenoor 12 mm klip.

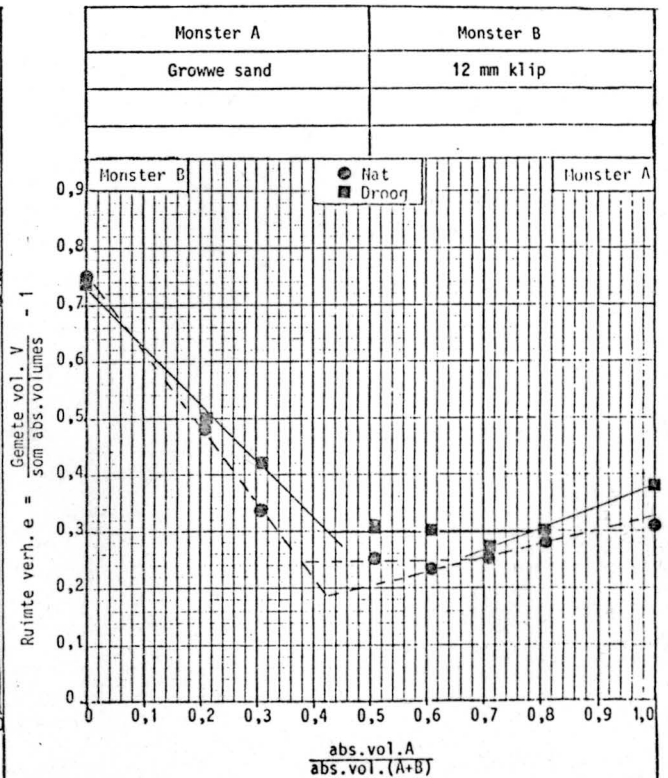


Fig. J.8: Menge van growwe sand teenoor 12 mm klip.



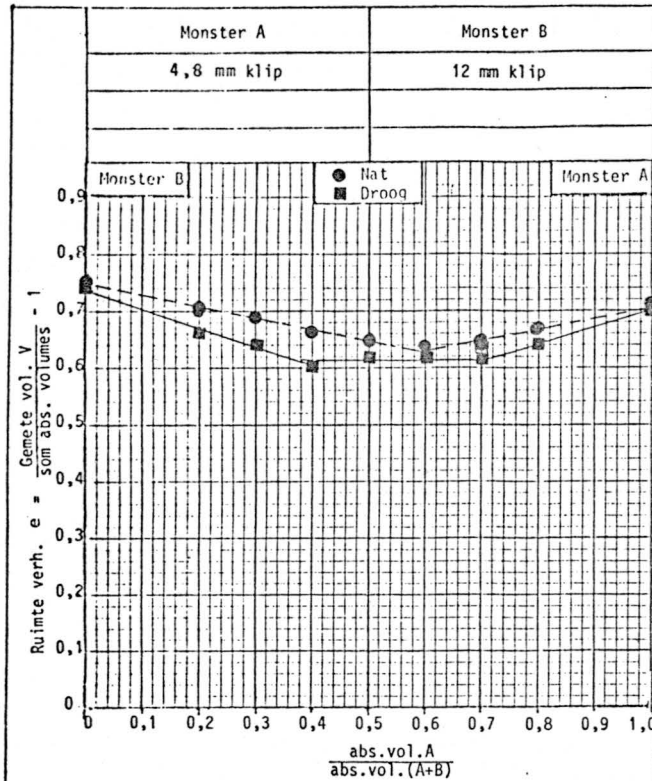


Fig. J.9: Menge van 4,8 mm en 12 mm klip.

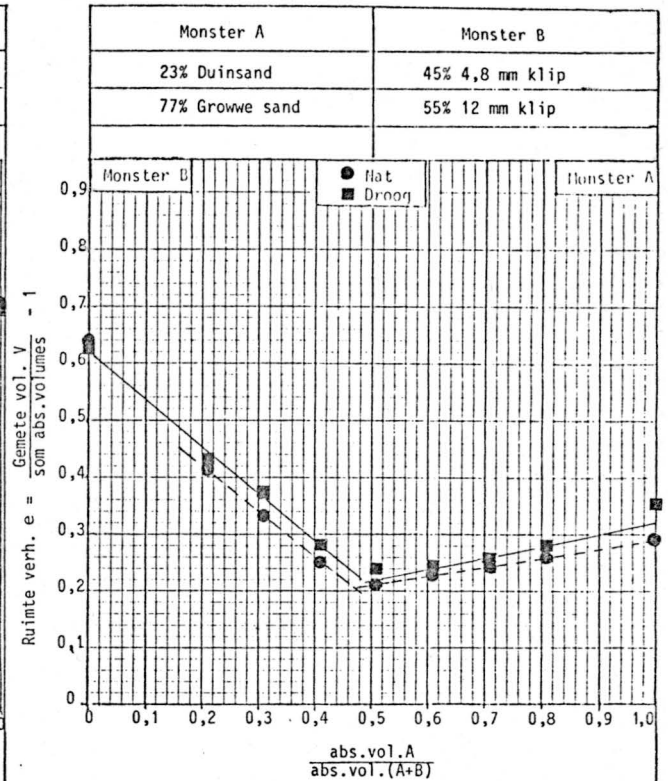


Fig. J.10: Menge van optimum duin- en growwe sand en optimum 4,8 en 12 mm klip.

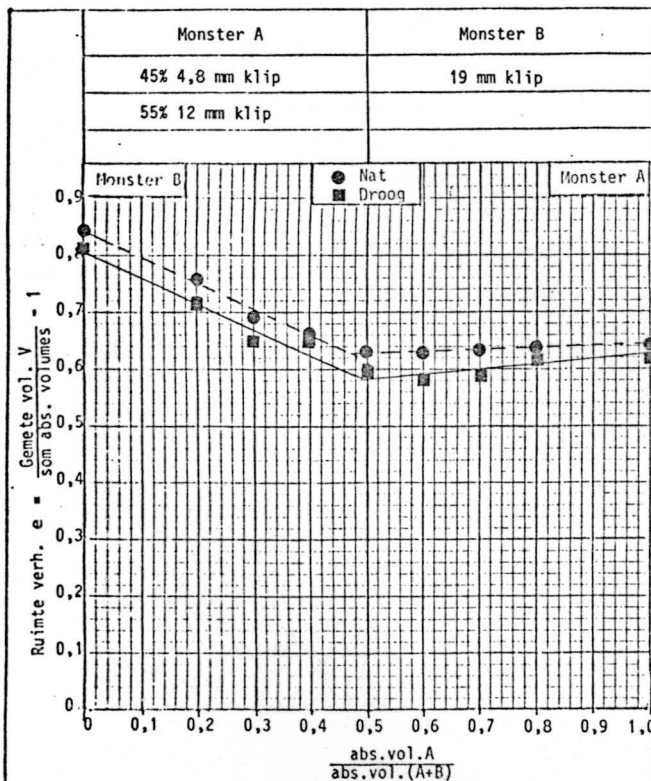


Fig. J.11: Menge van optimum 4,8 en 12 mm klip teenoor 19 mm klip.

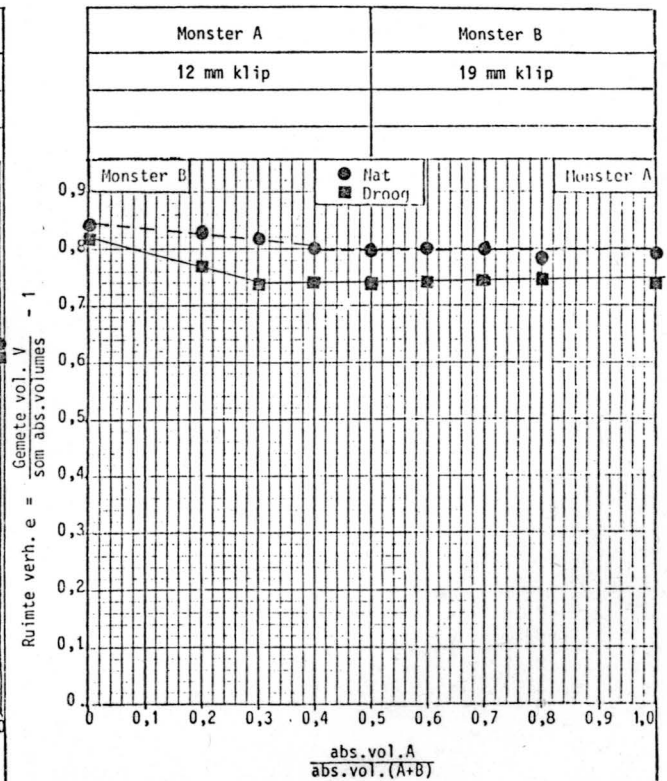


Fig. J.12: Menge van 12 en 19 mm klip.



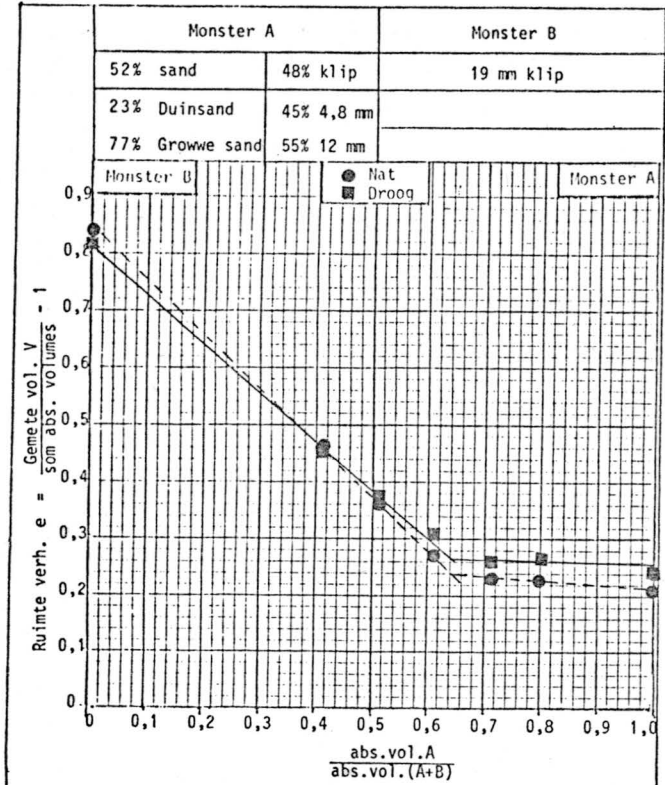


Fig. J.13: Meng'van optimum duin- en growwe sand en 4,8 en 12 mm klip teenoor 19 mm klip.

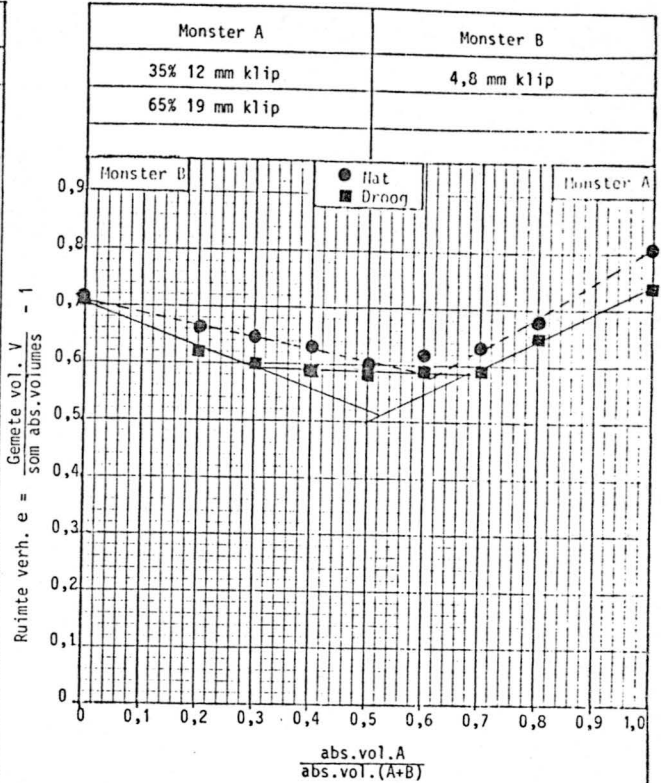


Fig. J.14: Optimum 12 en 19 mm klip teenoor 4,8 mm klip.

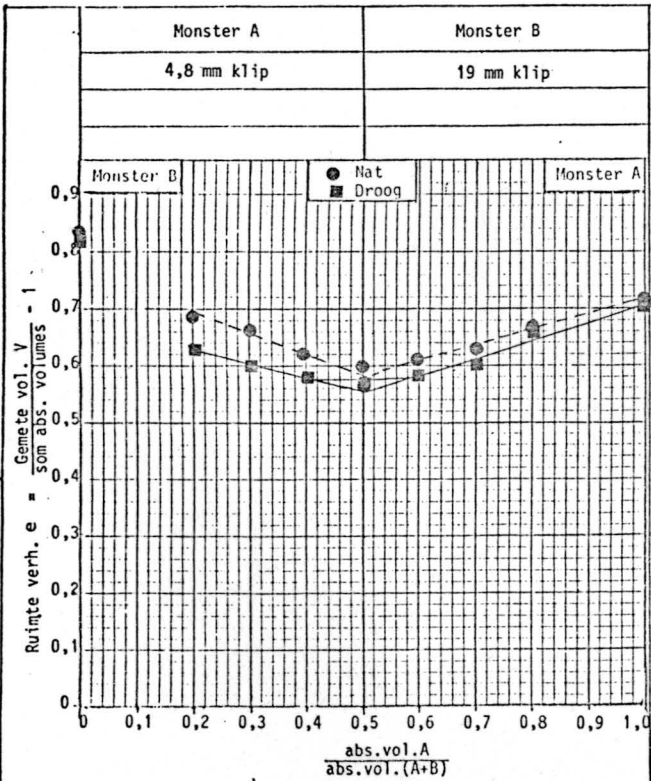


Fig. J.15: Meng van 4,8 mm klip en 19 mm klip.

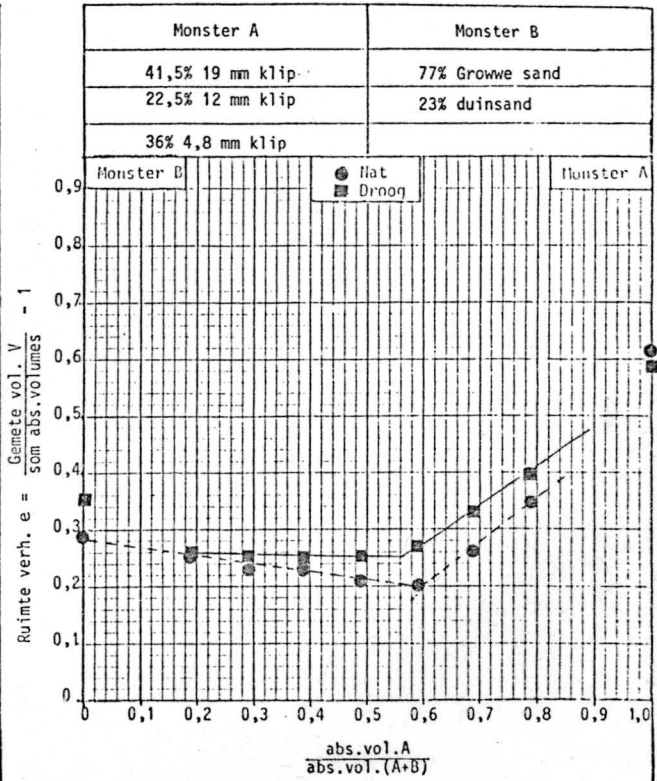
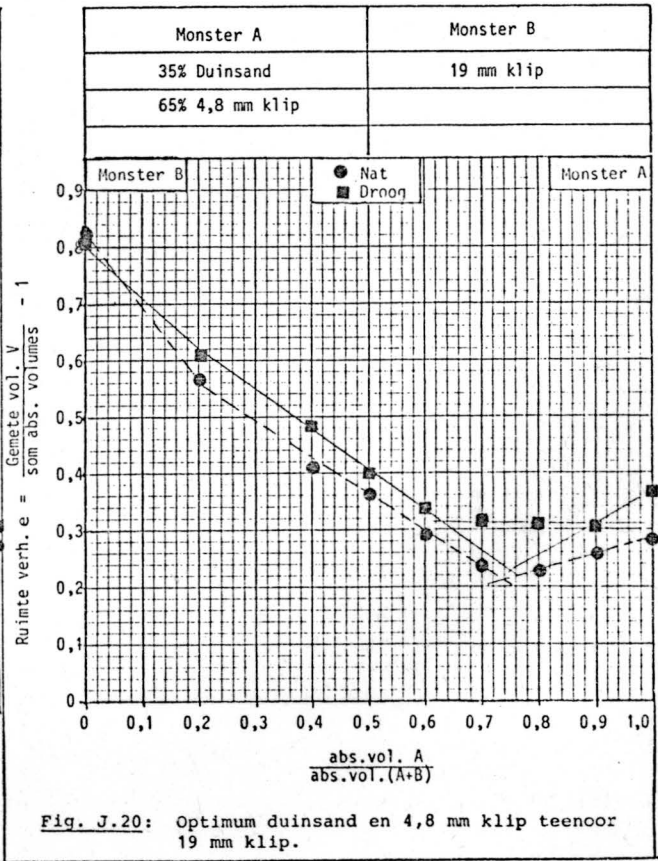
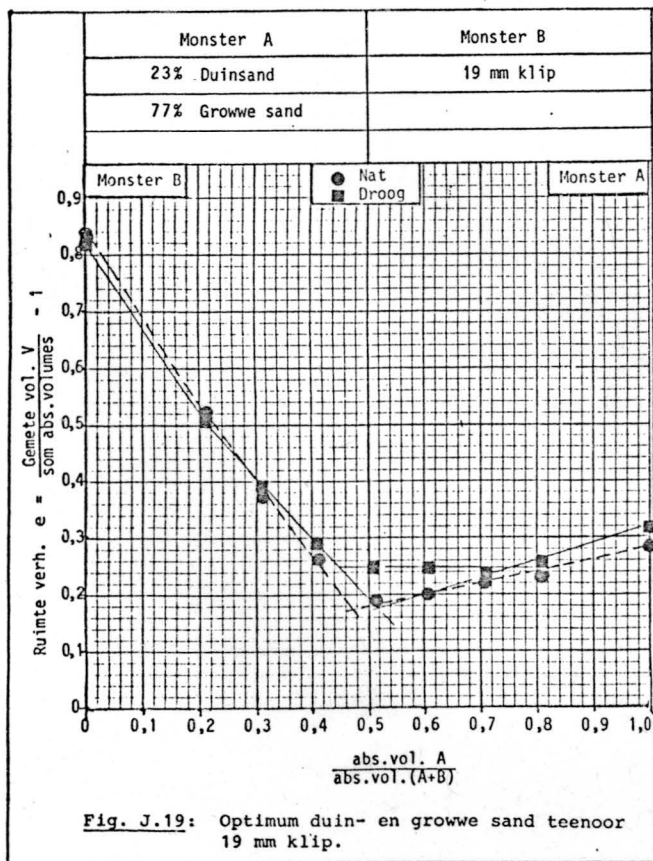
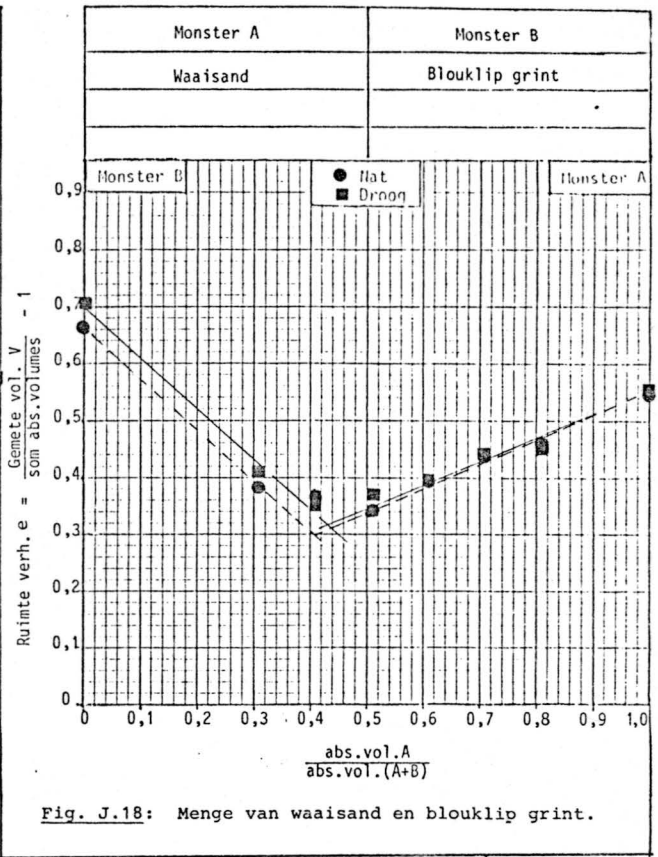
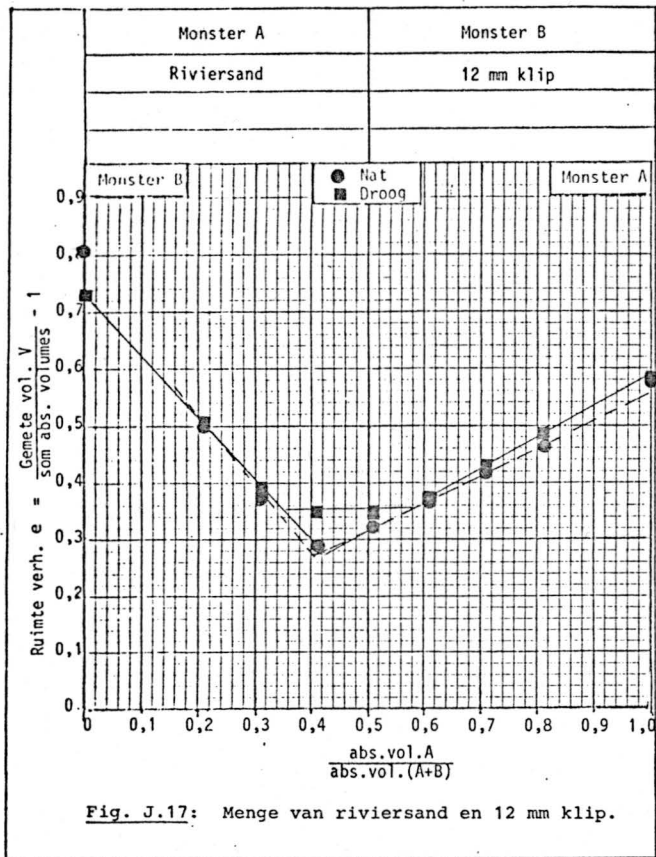


Fig. J.16: Meng van optimum growwe aggremaat en optimum fyn aggremaat.







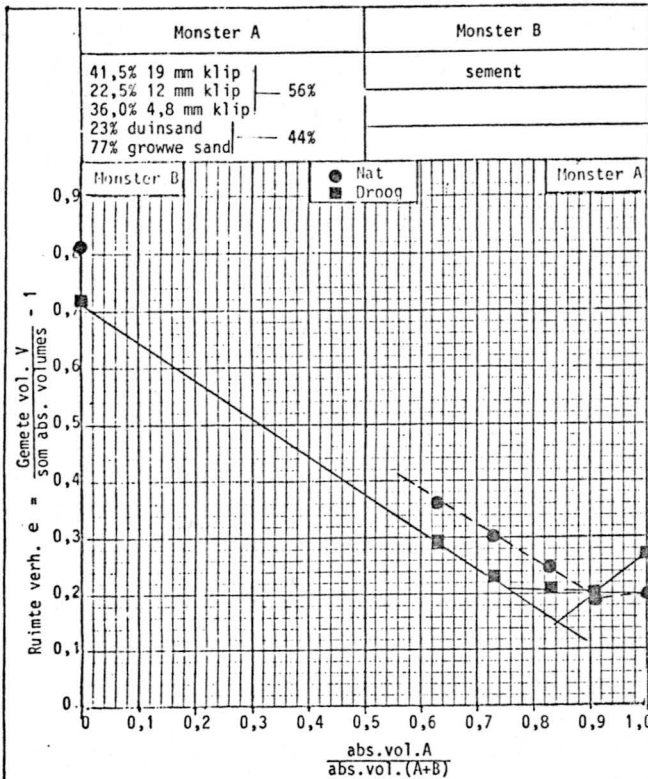


Fig. J.21: Meng van optimum fyn en growwe toeslag teenoor sement.

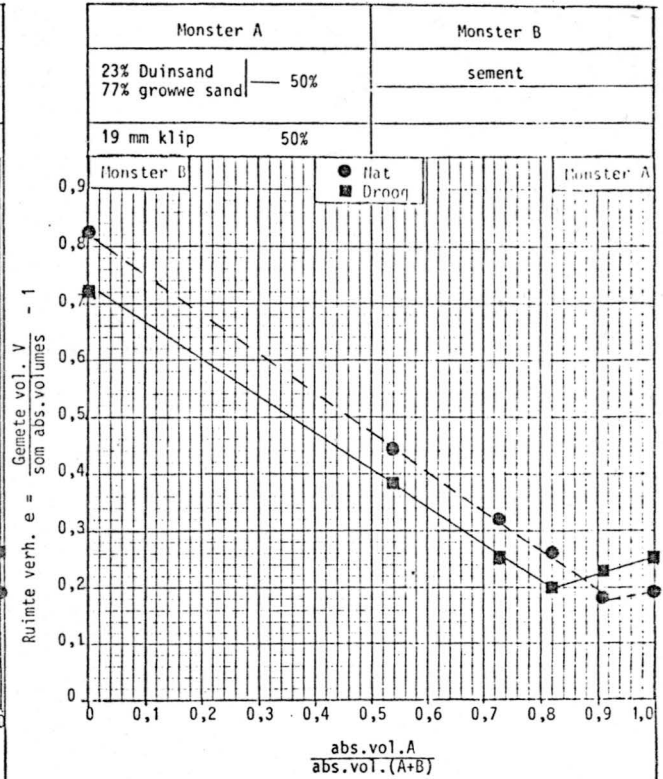


Fig. J.22: Meng van optimum fyn toeslag met optimum 19 mm klip teenoor sement.

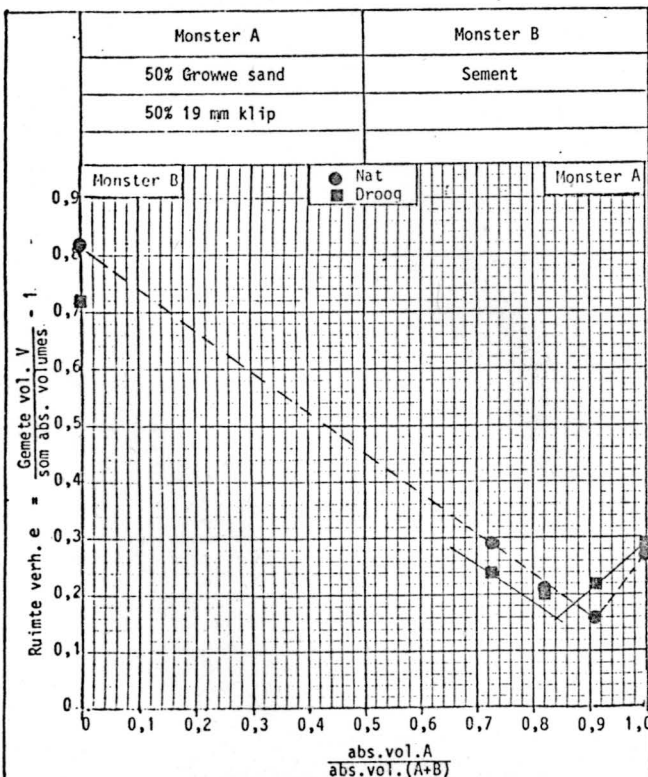


Fig. J.23: Optimum van growwe sand en 19 mm klip teenoor sement.

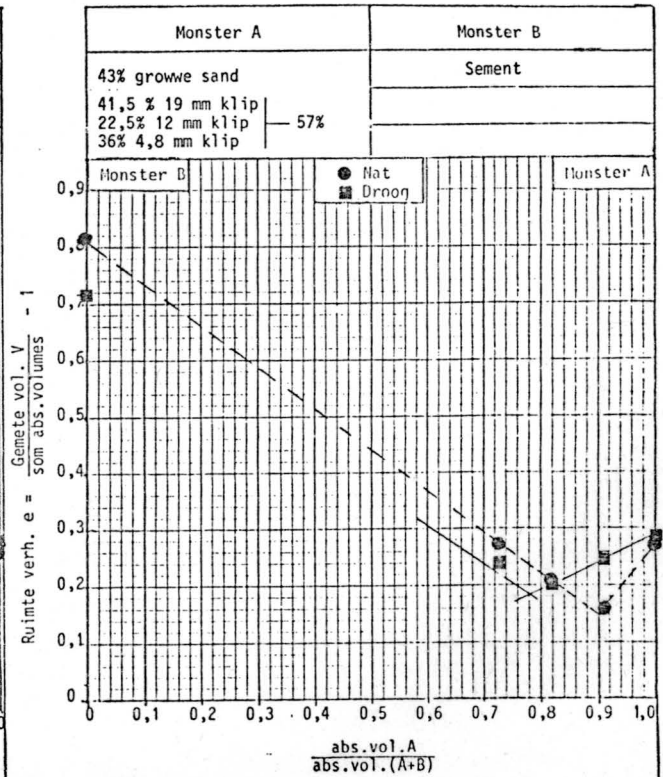
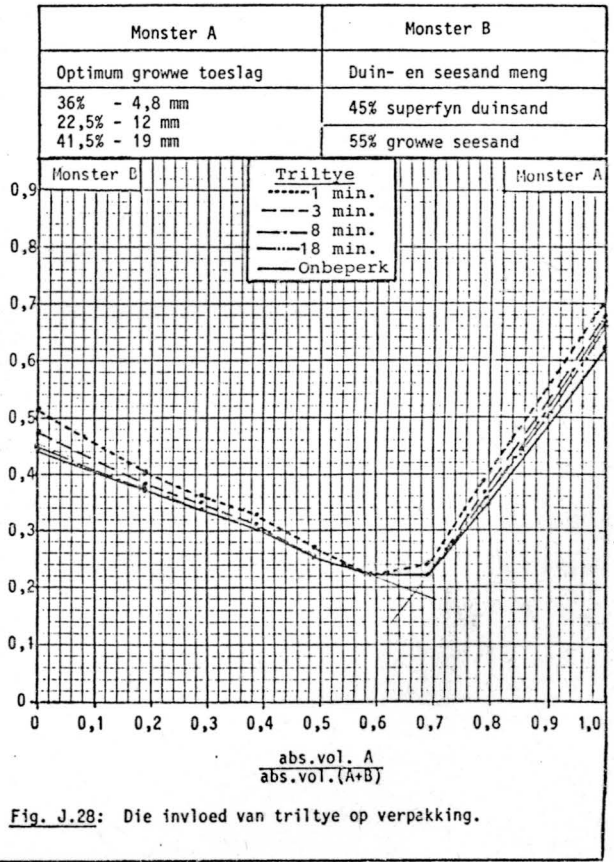
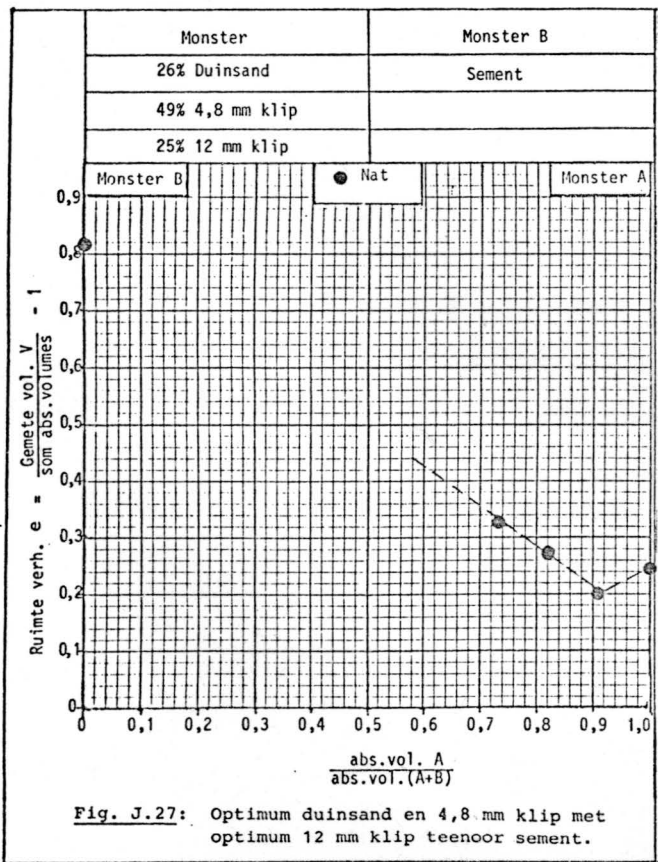
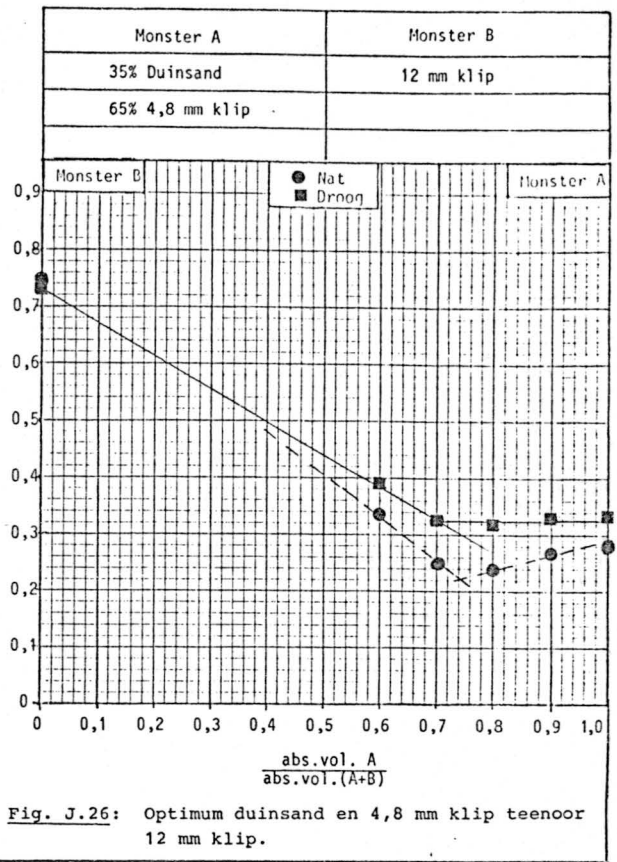
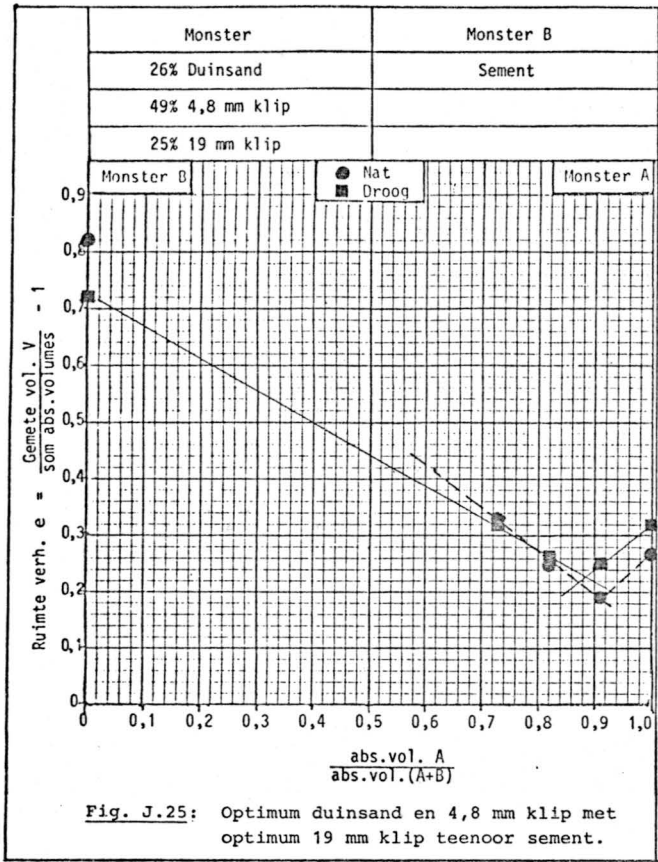


Fig. J.24: Optimum sand en optimum klip teenoor sement.





Abs volume A Abs vol (A+B)	Ruimteverhoudings vir verskillende triltye in minute:				
	1 min	3 min	8 min	18 min	Onbeperk
0	0,51	0,47	0,45	0,44	0,44
0,19	0,40	0,38	0,37	0,37	0,37
0,29	0,36	0,35	0,34	0,34	0,34
0,39	0,33	0,31	0,30	0,30	0,30
0,49	0,27	0,25	0,25	0,25	0,25
0,59	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
0,69	0,24	0,22	0,22	0,22	0,22
0,79	0,39	0,37	0,36	0,36	0,35
1,0	0,70	0,68	0,67	0,66	0,62

Samestellings van materiale was soos volg:

Materiaal A - 36%-4,8 mm; 22,5%-12 mm en 41,5%-19 mm klip.

Materiaal B - 45% superfyn duinsand; en  
55% growwe seesand.

Tabel J.1: Triltie teenoor verdigting. Kort tye benodig in die omgewing van beste verpakking wat voorkom by ongeveer 35% van A per totale absolute volumes of 36,5 % per massa.

BYLAE K

Graderingskurwes.



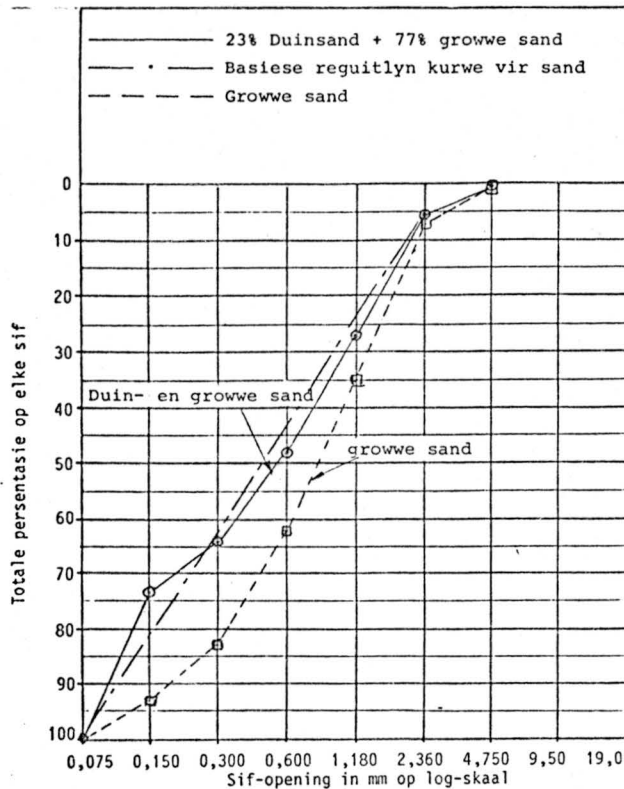


Fig. K.1: Graderings van growwe sand en van duin- en growwe sand.

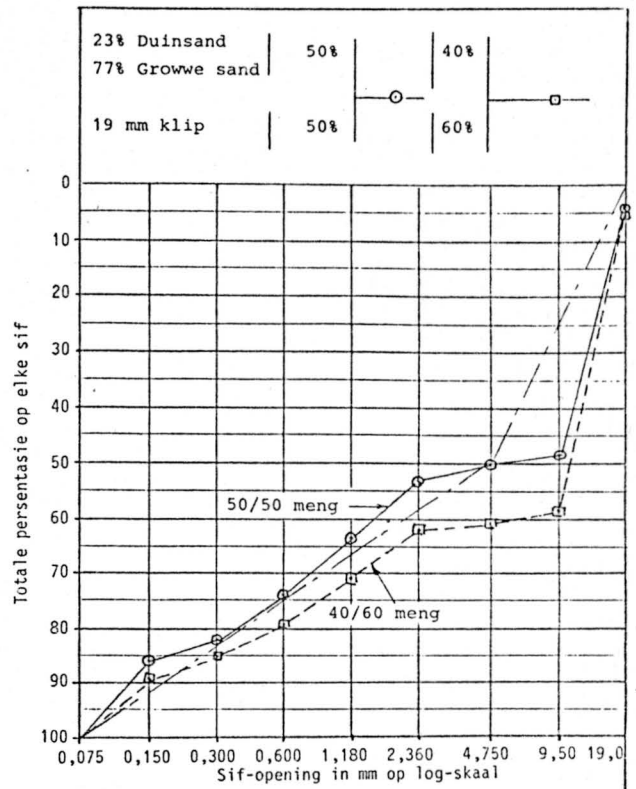


Fig. K.2: Graderings van optimum duin- en growwe sand en 19 mm klip by optimum 50/50-.

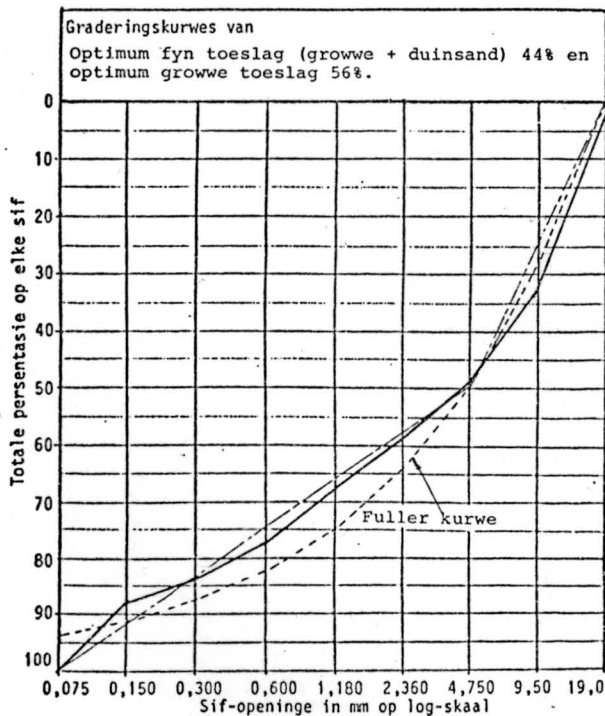


Fig. K.3: Meng van optimum fyn toeslag en optimum growwe toeslag.

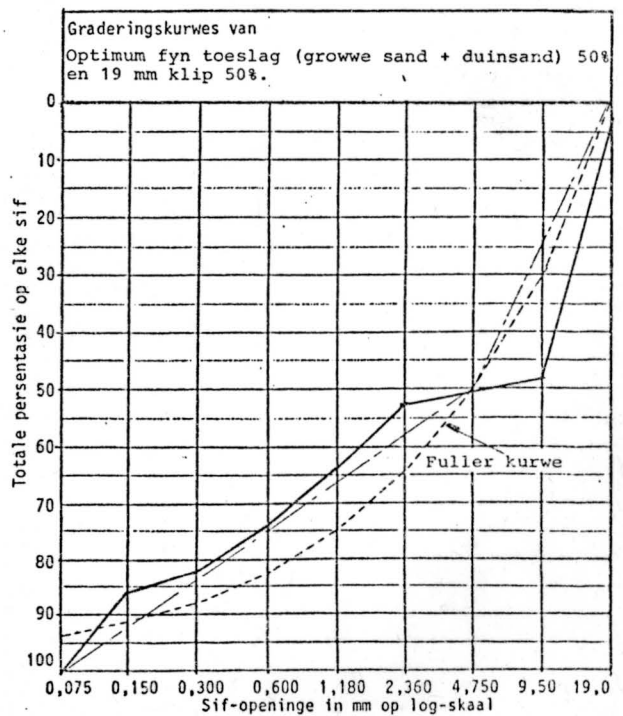


Fig. K.4: Meng van optimum fyn toeslag en 19 mm klip.

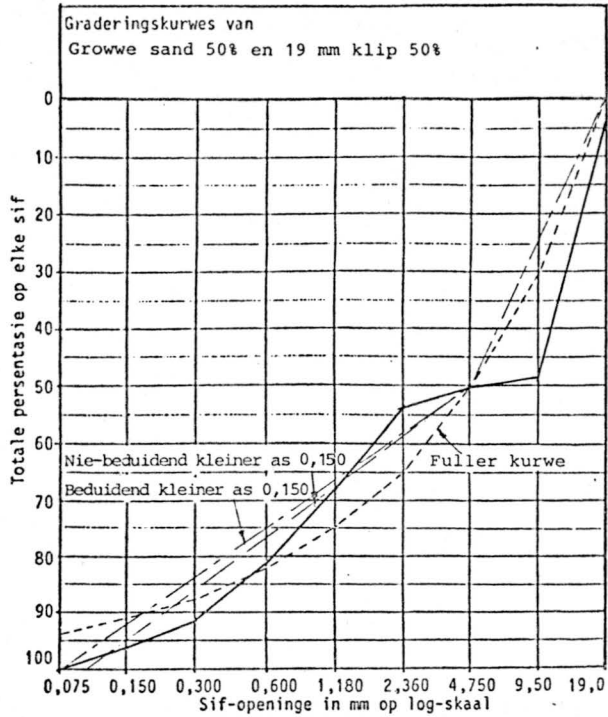


Fig. K.5: Meng van growwe sand en 19 mm klip.

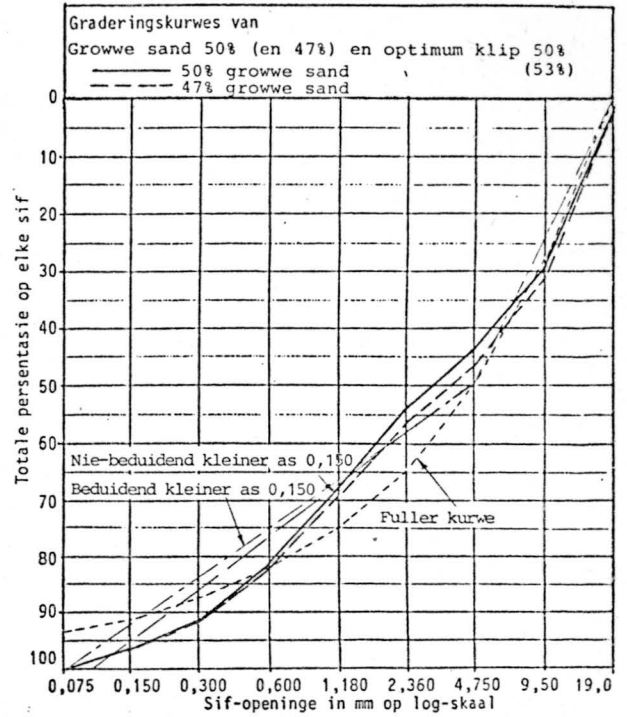


Fig. K.6: Meng van growwe sand en optimum klip meng.

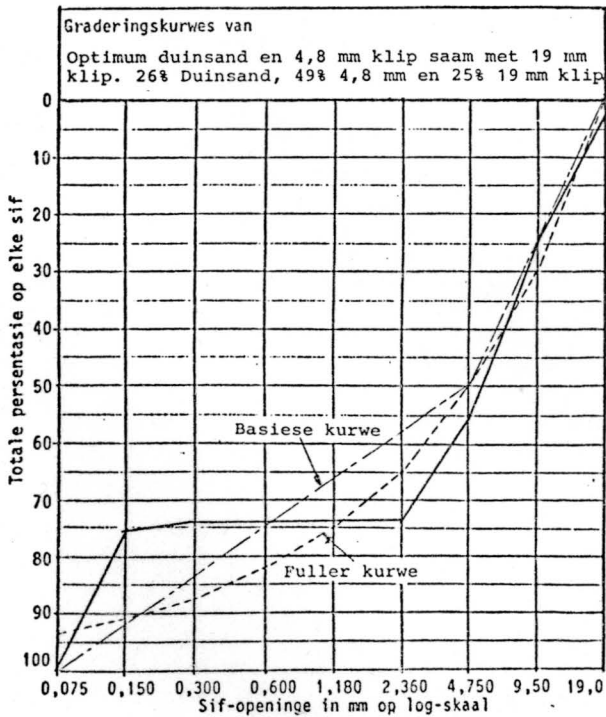


Fig. K.7: Meng van optimum duinsand en 4,8 mm klip saam met 19 mm klip.

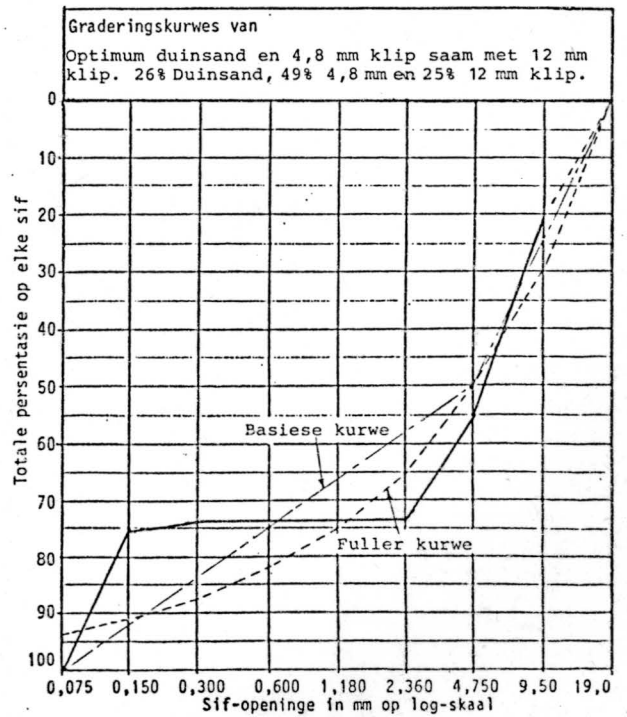


Fig. K.8: Meng van optimum duinsand en 4,8 mm klip saam met 12 mm klip.



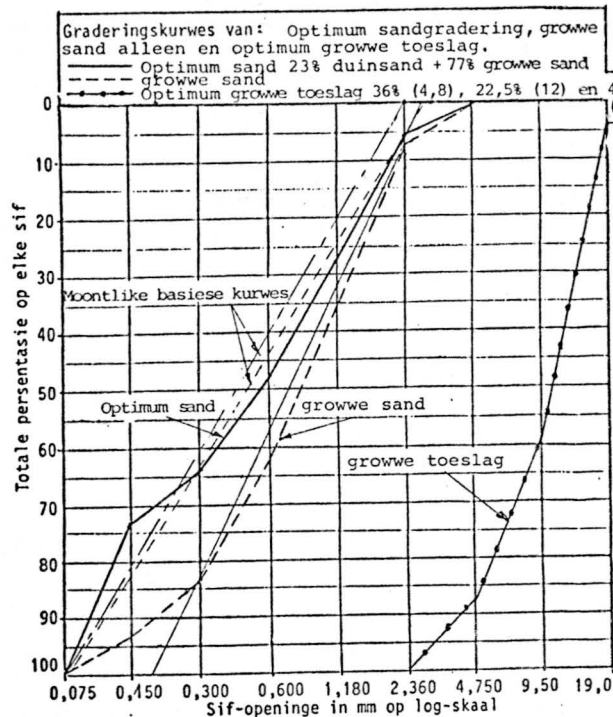


Fig. K.9: Meng van optimum sand, growwe sand alleen en van optimum growwe toeslag.

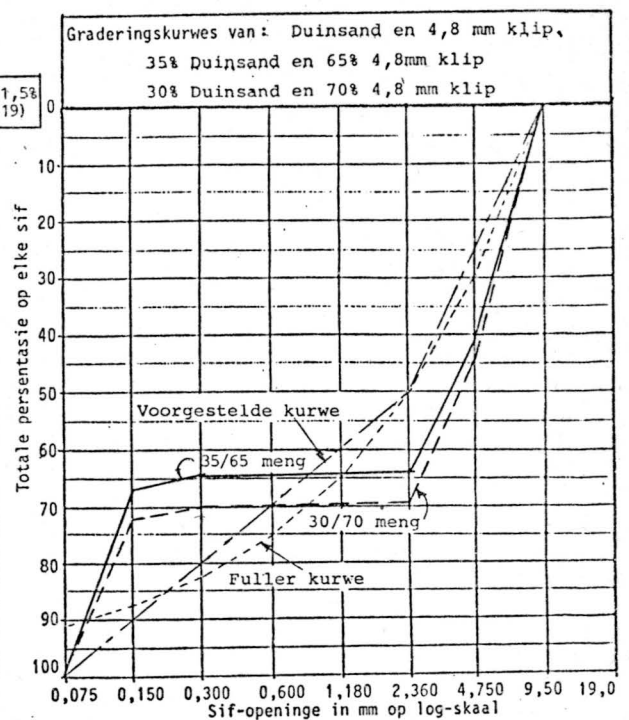


Fig. K.10: Menge van duinsand en 4,8 mm klip.

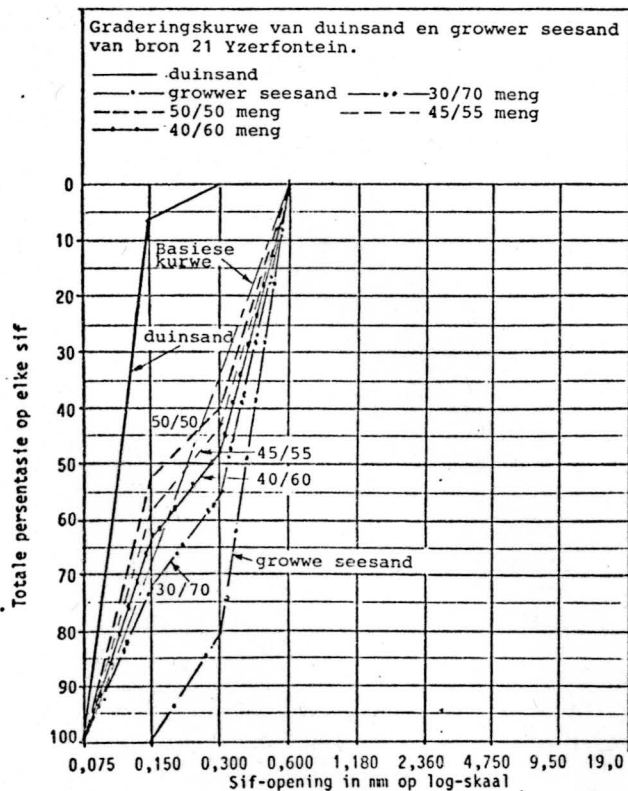


Fig. K.11: Graderings van verskillende meng persentasies duin- en growwer seesand van verskillende bronne.

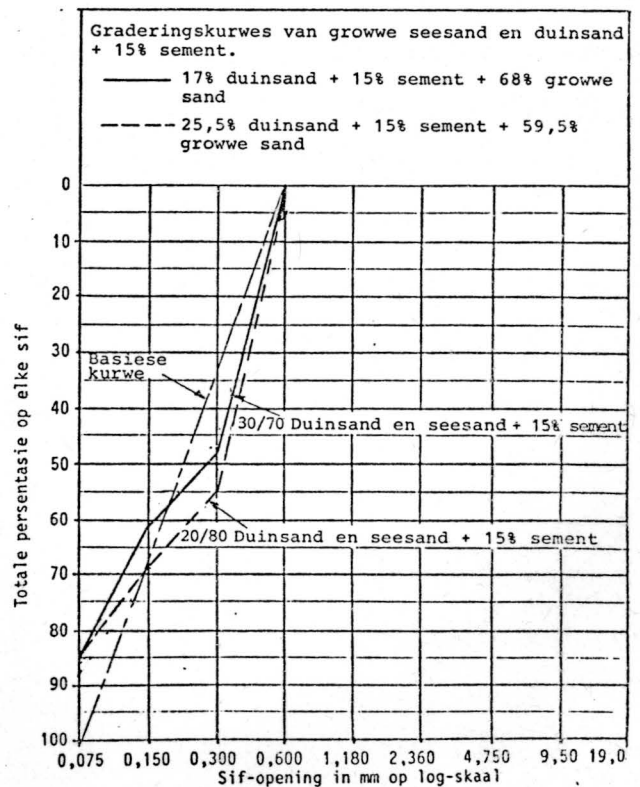


Fig. K.12: Graderings growwer seesand en duinsand + 15% sement.



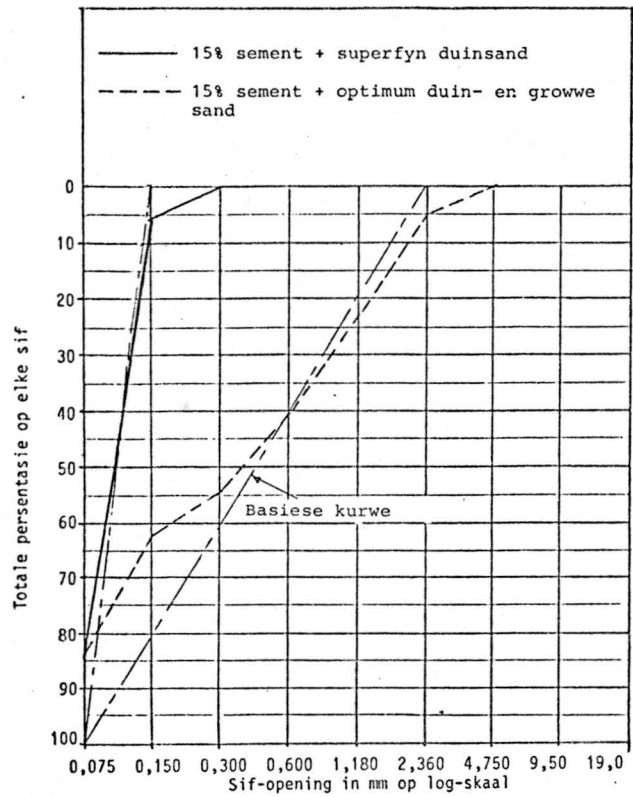


Fig. K.13: Duinsand + 15% sement meng en optimum duin en growwe sand + 15% sement.

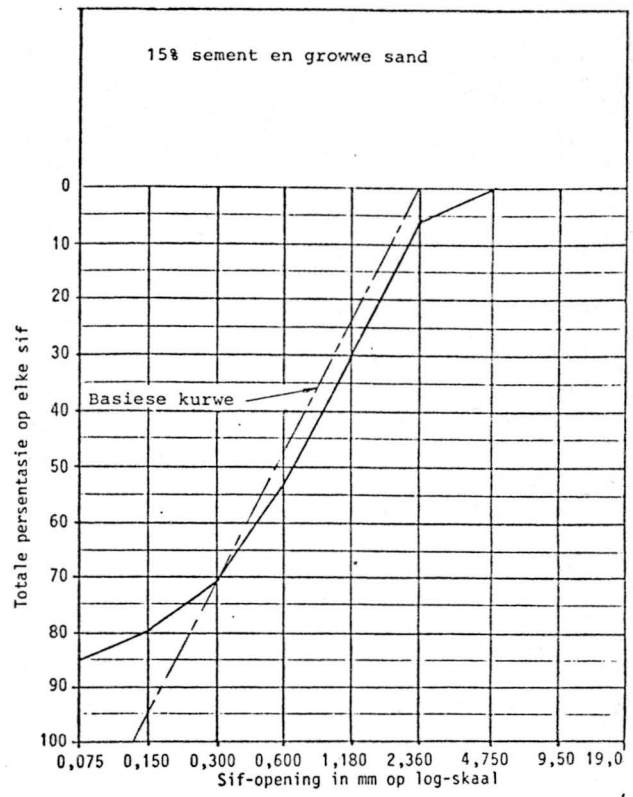


Fig. K.14: Growwe sand + 15% sement.

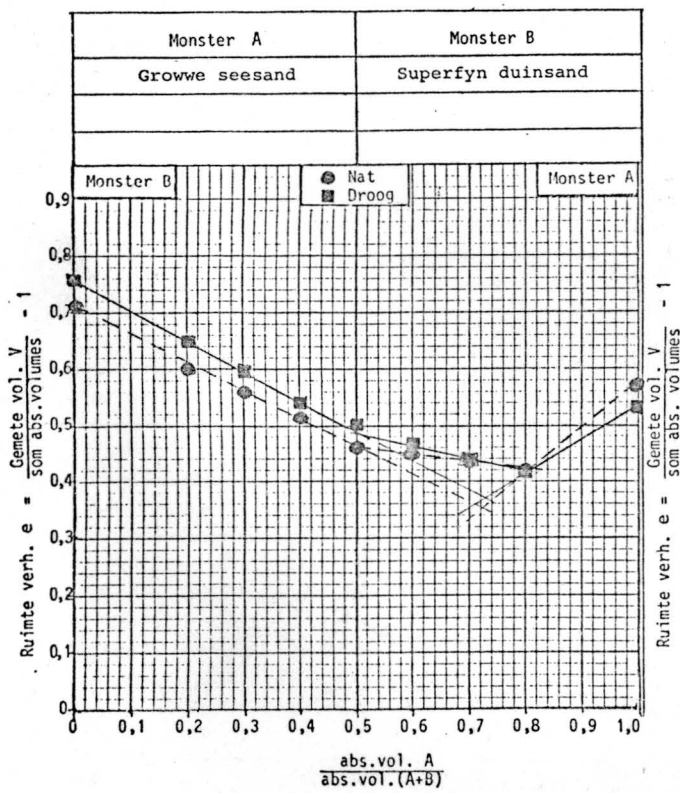


Fig. K.15: Growwe seesand teenoor duinsand.

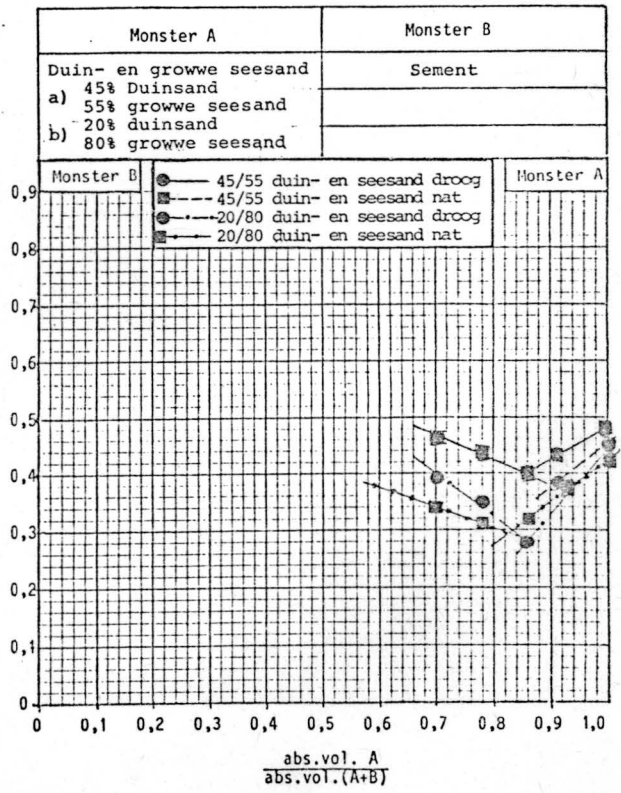


Fig. K.16: Verskillende menne duin- en seesand teenoor sement.



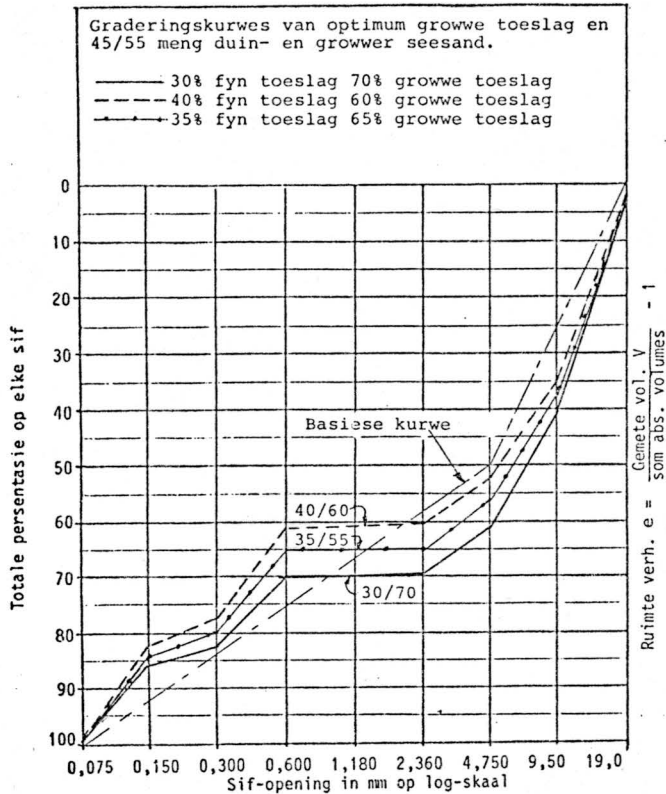


Fig. K.17: Graderings van verskillende hoeveele van optimum growwe toeslag en 45/55 meng duin- en seesand.

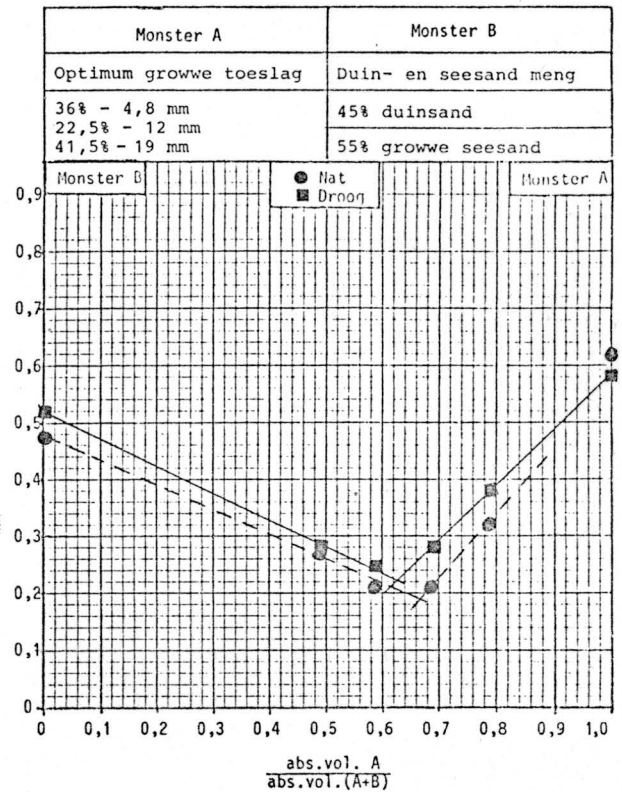


Fig. K.18: Menge van optimum growwe toeslag teenoor h 45/55 meng duin- en seesand.

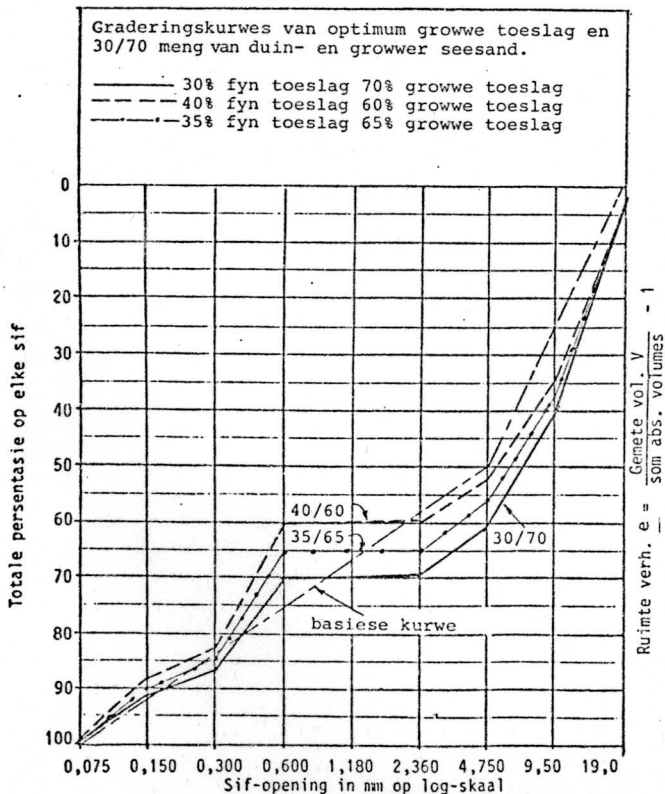


Fig. K.19: Graderings van verskillende hoeveele van optimum fyn en optimum growwe toeslag.

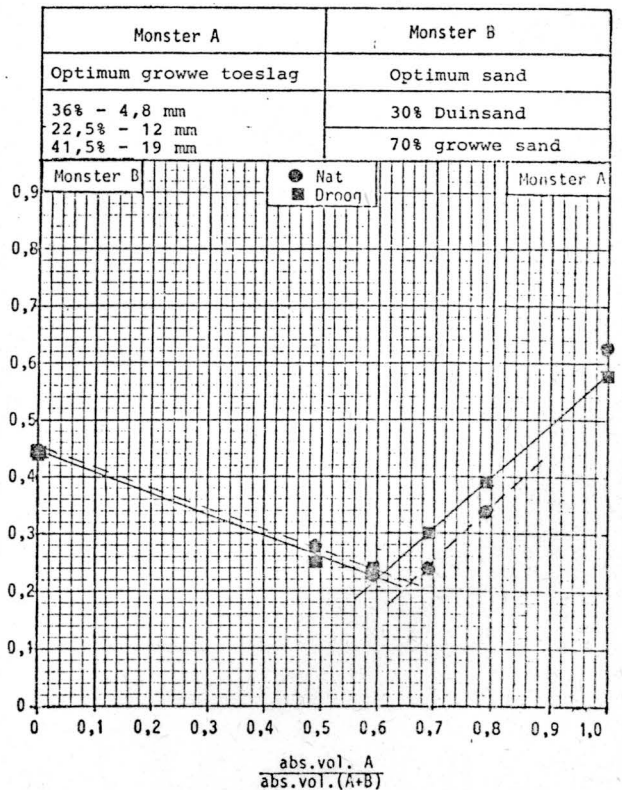


Fig. K.20: Menge van optimum fyn en optimum growwe toeslag.

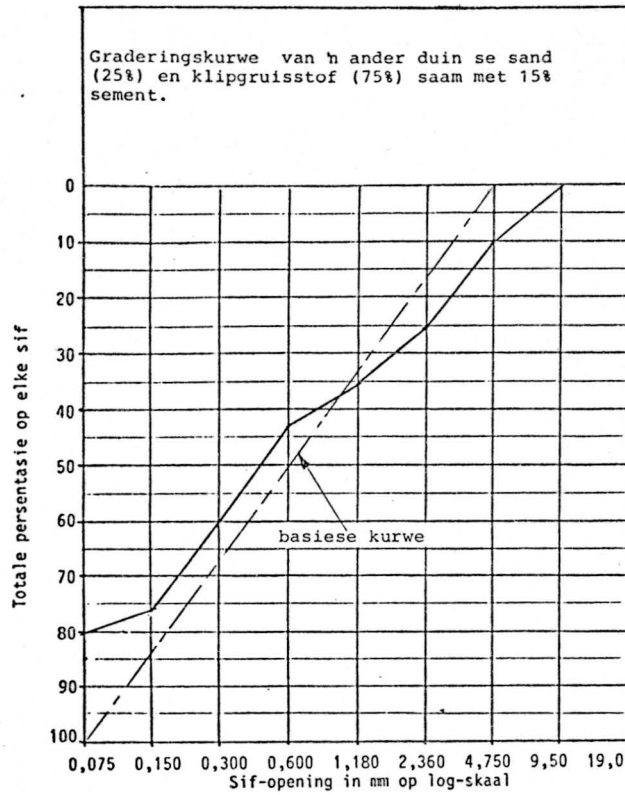


Fig. K.21: Graderingskurwe van 25% sand van h ander duin en 75% gruisstof saam met 15% sement.

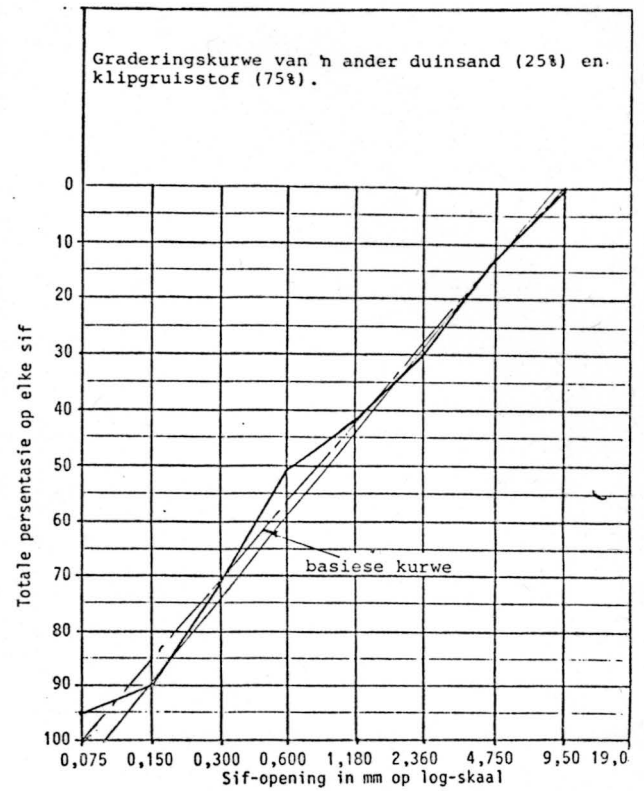


Fig. K.22: Graderingskurwe van 25% sand van h ander duin en 75% gruisstof.



VOORBEELD VAN 'N MENGONTWERP - MONSTERBEREKENINGMateriaal gebruik

Superfyn duinsand saam met growwer seesand.

4,8mm; 12mm en 19mm gebreekte Malmesbury skalie.

Volgens die toetse en 'n graderingsbalansering om 'n basiese graderingskurwe soos in fig. K.12, bylae K, blyk dit dat 'n 30/70 superfyn tot growwer seesand die beste fyn toeslag meng gee. Uit fig. J.14, bylae J blyk dit dat 'n optimum growwe toeslag meng die volgende moet bevat:- 4,8mm - 36%, 12mm - 22,5% en 19mm - 41,5%. Na aanleiding van fig. K.19, bylae K, blyk dat 'n 35/65 meng van fyn tot growwe toeslag miskien net te min fyn toeslag bevat terwyl 'n 40/60 meng te veel fyn toeslag bevat. Dus 'n ietsie meer as 35% fyn toeslag word benodig. Probeer dus 'n verhouding van 37/63 fyn tot growwe toeslag.

Gestel die verwagte sterkte moet ongeveer 32MPa wees op 28 dae (Gevaarborgde sterkte moontlik 25MPa).

Volgens fig. 7.1 bls 98 van Fulton-Concrete Technology<sup>22</sup> sal 'n S/W = 1,85 benodig word as die grafiek vir  $\alpha = 0,85$  gebruik word. Vorige toetse met sement uit hierdie betrokke sakkie sement het bevestig dat  $\alpha = 0,85$ .

Skat watervereiste =  $195 \text{ l/m}^3$

Vir 'n growwer sand met goeie gradering is gevind dat met 'n 50/50 meng van 4,8/19mm aggremaat 'n watervereiste van ongeveer  $185 \text{ l/m}^3$  'n uitsakking van ongeveer 50mm gee. Weens die fynheid van die sand word verwag dat die watervereiste met ongeveer  $10 \text{ l/m}^3$  sal styg omdat 'n groter oppervlakte met water gesmeer moet word om dieselfde werkbaarheid te behou.

## K.8

Die sementinhoud is dus  $= 195 \times 1,85 = 360,8 \text{ kg/m}^3$

Absolute volume water  $= 195 \text{ } \ell$

Absolute volume sement  $= 360,8/3,14 = \frac{114,9}{309,9} \text{ } \ell$

Dus absolute volume toeslag  $= 1000 - 309,9 = 690,1 \text{ } \ell$

Die gemiddelde relatiewe digtheid (RD)

$$= (37 \times 2,65 + 63 \times 2,77) \div 100 \\ = 2,726$$

Dus massa van die toeslag  $= 690,1 \times 2,726 = 1881 \text{ kg}$

Dus fyn toeslag  $= 696 \text{ kg}$

en growwe toeslag  $= 1185 \text{ kg}$

Die meng is dan soos volg.

	bereken	gebruik
water	195 kg	4,33 kg
sement	360,8 kg	8,02 kg
superfyn duinsand	209 kg	4,6 kg
growwer seesand	487 kg	10,8 kg
4,8mm aggremaat	427 kg	9,5 kg
12mm aggremaat	267 kg	5,9 kg
19mm aggremaat	492 kg	10,9 kg

### Bevindings

1. Werkbaarheid gee 'n uitsakking van 55mm en voldoen aan die vereiste.
2. Indien die beton nie gedurig geroer word nie verstyf dit gou maar bly goed verdigbaar hoewel dit "droog" lyk.
3. Voldoende fyn toeslag is gebruik en kan selfs met 1-2% verminder word.

4. Die kubusvlakke is baie mooi netjies en glad. Goeie afwerking word verkry.
5. Die gemiddelde sterkte van 3 kubusse op 7 dae was 21,2MPa, terwyl die gemiddelde sterkte van 2 kubusse op 28 dae 31,1MPa was.
6. Die wit blootgestelde sandkorrels in die breukvlakke van die kubusse wat op 7 dae getoets is, dui op 'n gebrek aan verband tussen sement en sekere sandkorrels.
7. Die 28 dae toets bereik min of meer die verwagte sterkte met 'n skraal moontlikheid dat dit moontlik 1-2% laer kan wees as wat dit behoort te wees. Die sterkte toename tussen 7 en 28 dae was ook groter as wat verwag is.
8. Die breukvlakke by die 28 dae toets toon nie wit sandkorrels soos in die 7 dae toets se geval nie. Die mortel is nou sterk sodat die growwe aggregraat gebreek word in die breukvlakke en as daar 'n verband probleem is, is dit nou eerder tussen die growwer dele van die growwe toeslag en die mortel wat weer nie abnormaal is nie.
9. Kubusse wat deurgesaag is op 28 dae toon dat matige segregasie aan die bokante voorgekom het en dat die boonste lagie effens meer mortel bevat as die onderste lae. Die fyn en growwe toeslag verspreiding is egter goed sodat die sandinhoud met 1-2% verlaag kan word wat beteken dat nader beweeg word aan die 35/65 meng soos bepaal in fig. K.19 en bevestig die voordeel van basiese graderingskurwes.



### Gevolgtrekkings

1. Goeie beton kan gemaak word deur die oordeelkundige gebruik van duin- en seesand. 'n Groot persentasie superfyn sand kan gebruik word mits dit met oorleg gebruik word en as aanvulling van growwer seesand aangewend word.
2. Die totale persentasie fyn toeslag is relatief laag soos verwag kan word.
3. Die watervereiste styg met ongeveer  $10\ell/m^3$ . Goeie verdigbaarheid kan verkry word en wie bereid is om met skynbaar "droë" menge te werk kan die watervereiste verder verlaag. Intensiewe trilbewerking bly steeds 'n vereiste.
4. Menge verstyf gou nadat menging gestaak is sodat 'n mens selfs kan praat van 'n korter "raklewe".
5. Sigbare bloeiing kan verwag word maar soos reeds getoon is sigbare bloeiing nie nadelig vir die beton nie. In hierdie geval was dit net effens meer as by 'n gewone beton en nie soveel dat 'n mens daarvoor bekommerd sal voel nie. Die lae porositeit en goeie verpakking, min of meer dieselfde as wat met 'n goedgegradeerde sand verkry kan word, sal verseker dat netsoveel water vasgehou word as in ander menge van dieselfde porositeit. As daar dus effens meer water nodig is vir werkbaarheid moet verwag word dat hierdie ekstra water sonder nagevolge kan uitbloei.
6. Die voorkeur wat aan verdigbaarheid gegee word bo werkbaarheid word verder versterk. Menge met 'n harde droë voorkoms behoort dus nie onaanvaarbaar te wees solank hulle goed verdigbaar is nie.

BYLAE L

Bloei en kleefwatervermoë (adsorpsie).



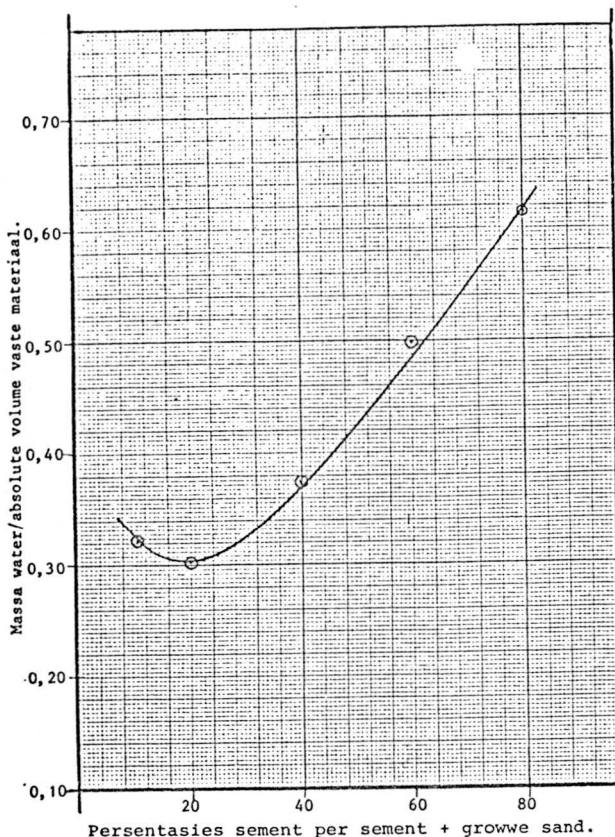


Fig. L.1: Adsorbeerde water in menge met verskillende persentasies sement per sement + growwe sand in 20/80 sement/toeslag mengte

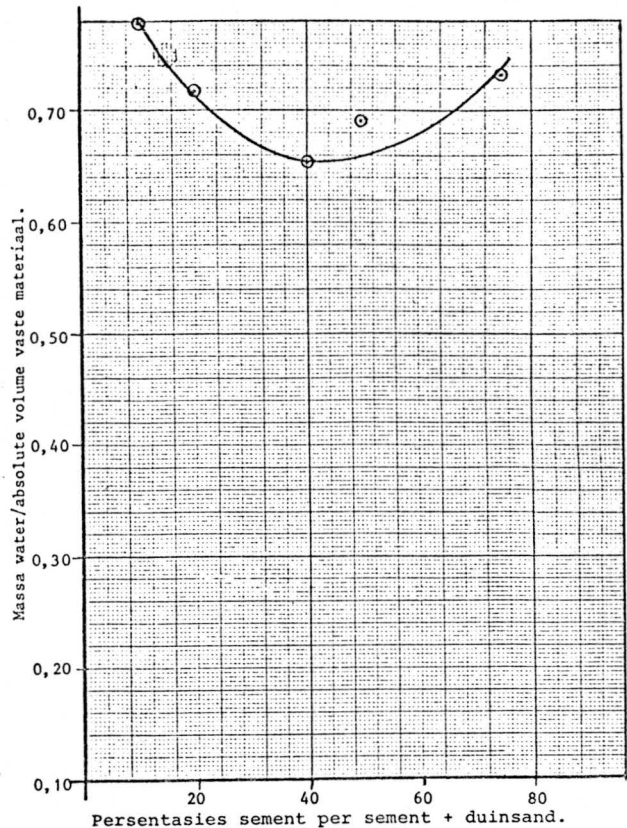


Fig. L.2: Adsorbeerde water in menge met verskillende persentasies sement per sement + duinsand in 20/80 sement/toeslag mengte per massa.

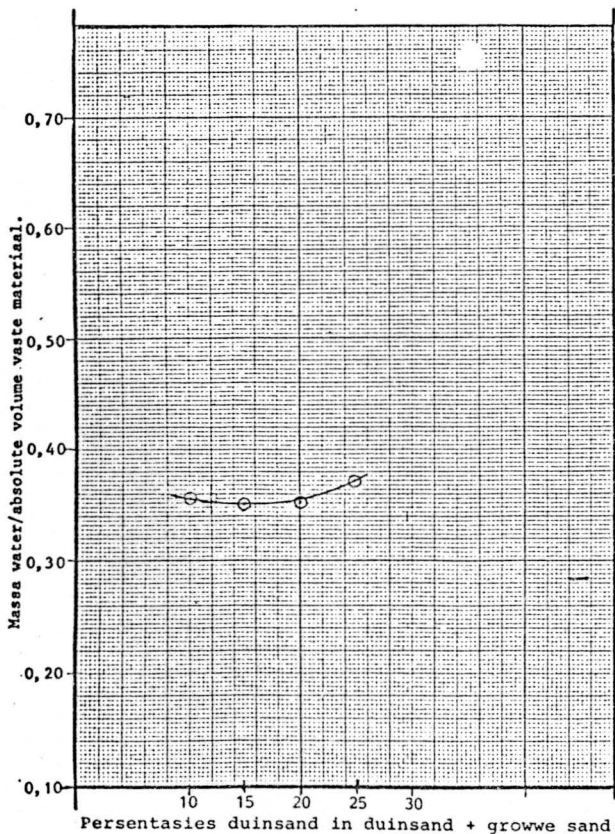


Fig. L.3: Adsorbeerde water in menge met verskillende persentasies duinsand per duinsand + growwe sand in 20/80 sement/toeslag mengte per massa.

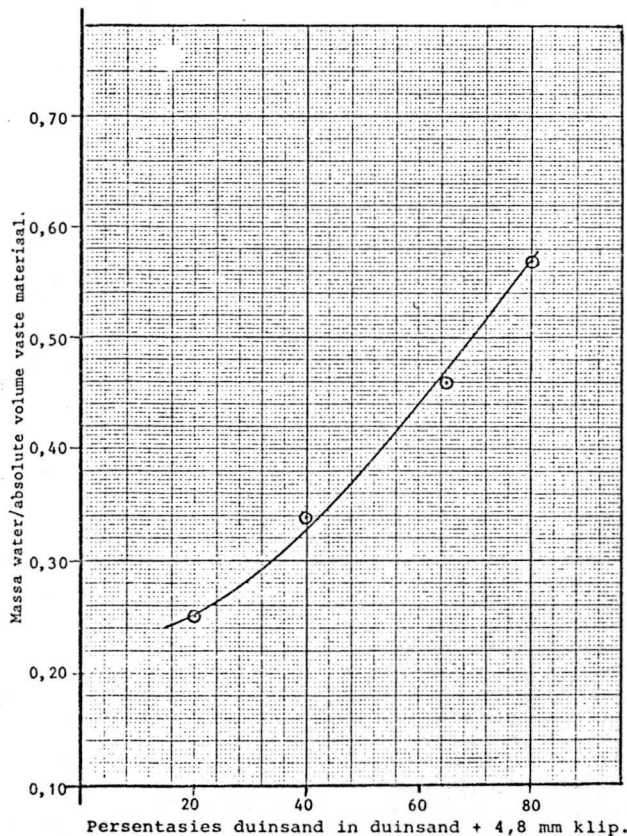


Fig. L.4: Adsorbeerde water in menge met verskillende persentasies duinsand per duinsand + 4,8 mm klip in 20/80 sement/toeslag mengte per massa.



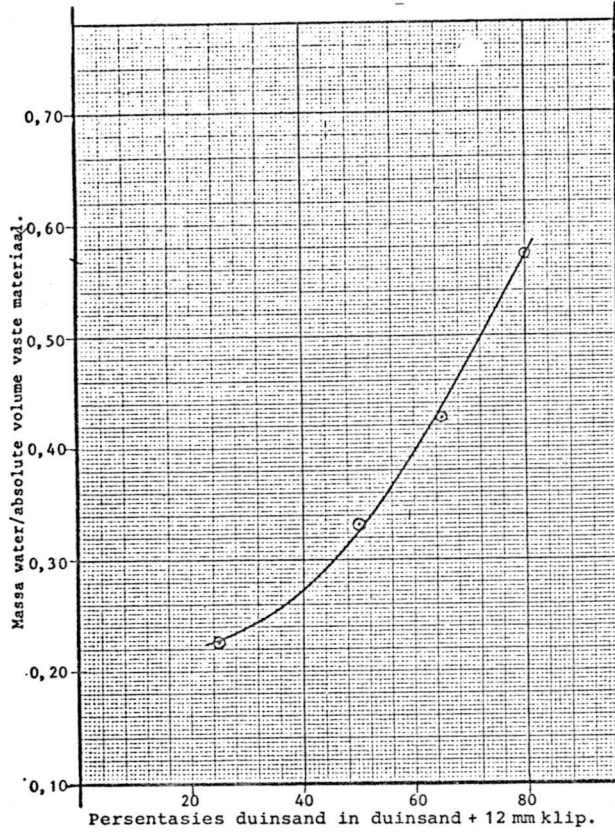


Fig. L.5: Adsorbeerde water by verskillende persentasies duinsand tot duinsand + 12 mm klip in 20/80 sement/toeslag mengte per massa.

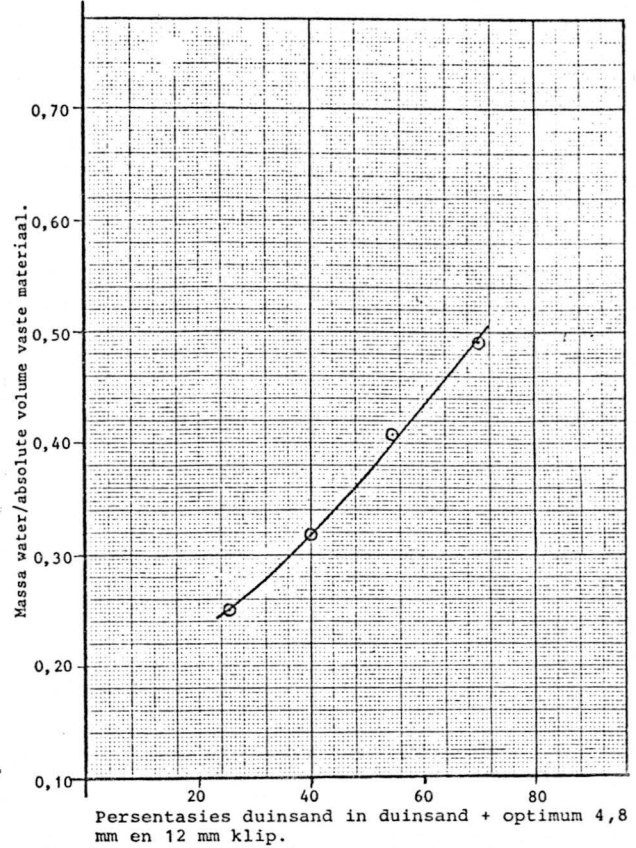


Fig. L.6: Adsorbeerde water by verskillende persentasies duinsand tot duinsand + optimum 4,8 en 12 mm klip in 20/80 sement/toeslag mengte per massa.

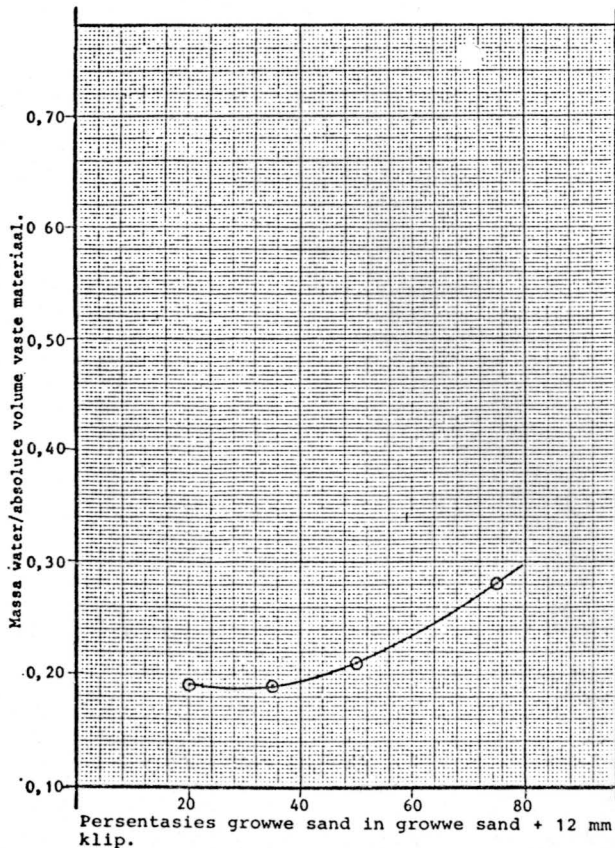


Fig. L.7: Adsorbeerde water by verskillende persentasies growwe sand per growwe sand + 12 mm klip vir 20/80 sement/toeslag mengte per massa.

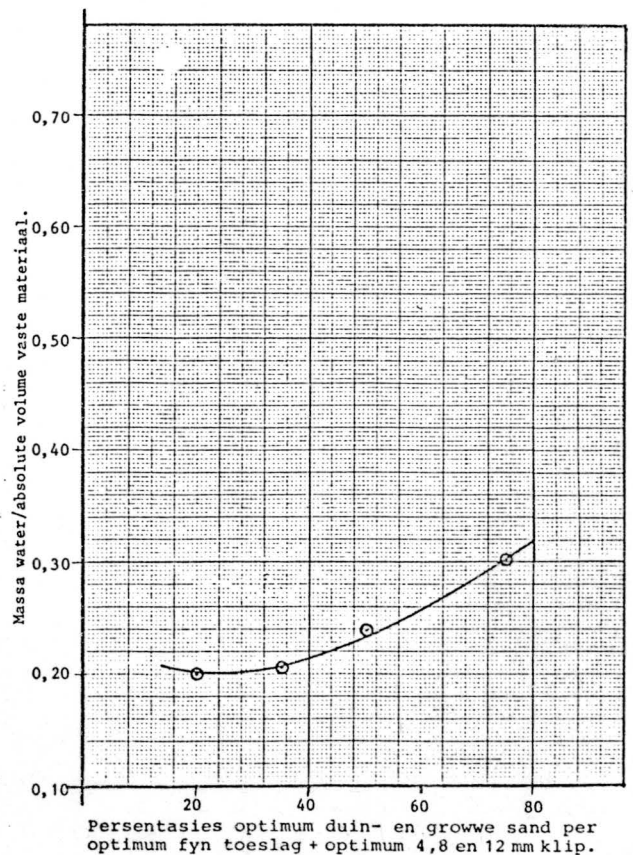


Fig. L.8: Adsorbeerde water by verskillende persentasies optimum fyn toeslag per fyn toeslag + optimum 4,8 en 12 mm klip in 20/80 sement/toeslag mengte per massa.



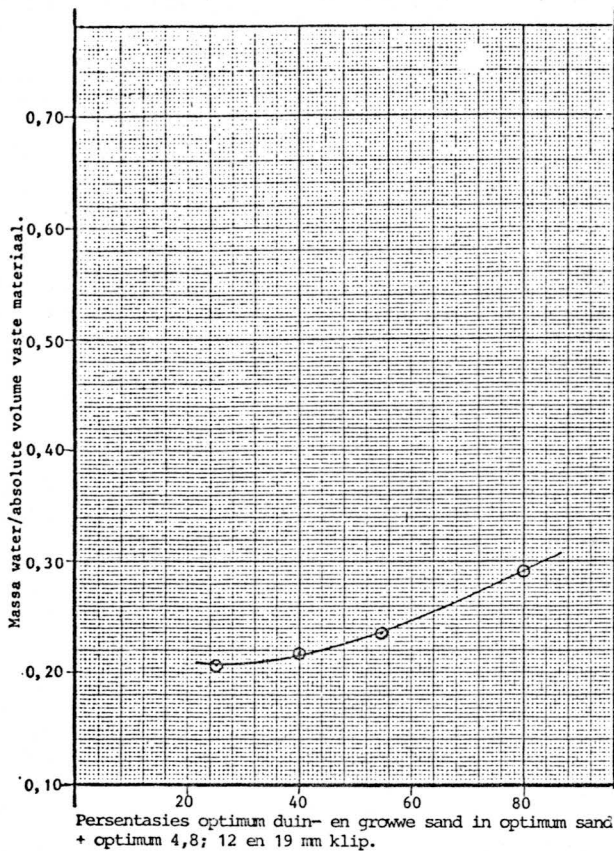


Fig. L.9: Adsorbeerde water by verskillende persentasies fyn toeslag tot totale toeslag en 20/80 sement/toeslag mengte per massa.

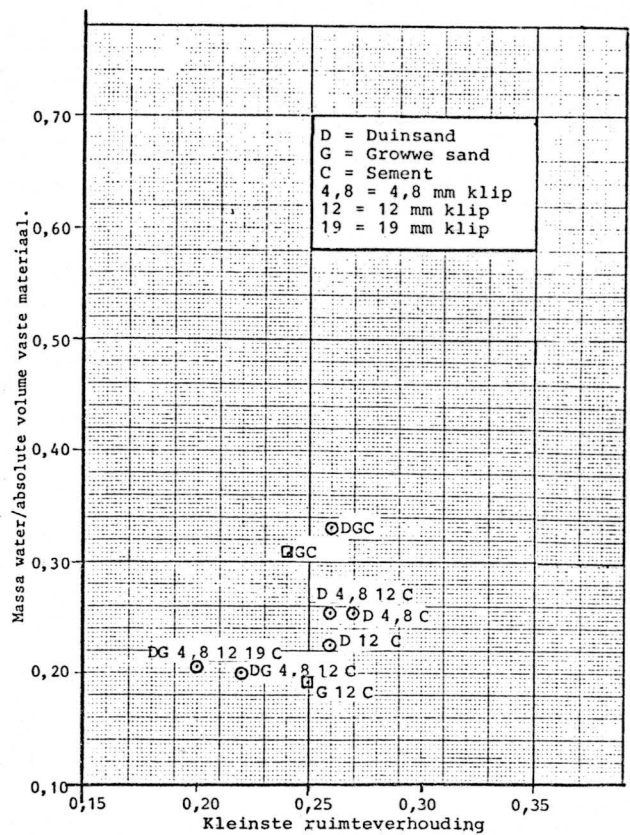


Fig. L.10: Adsorbeerde water teenoor kleinste ruimteverhouding in aggregate met 20/80 sement/toeslag mengte per massa.

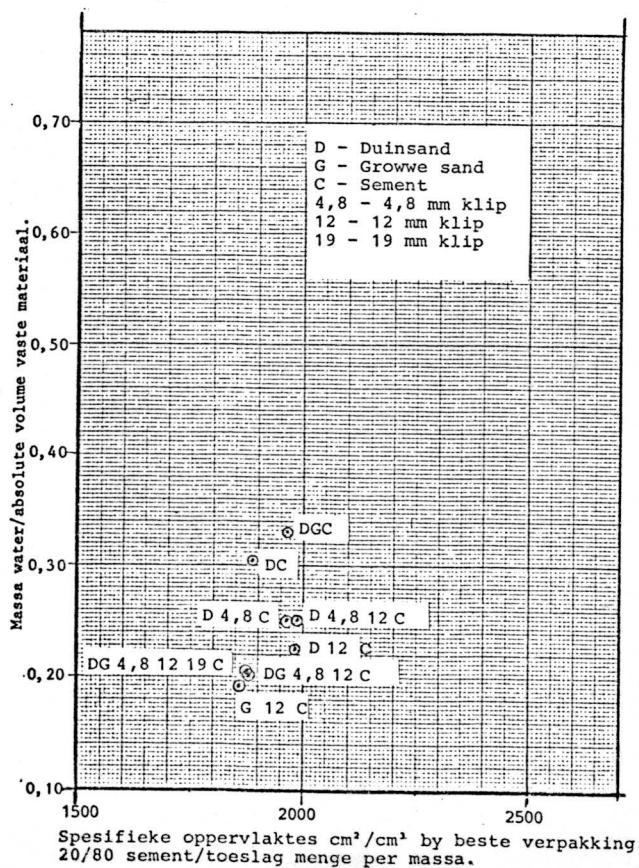


Fig. L.11: Spesifieke oppervlaktes teenoor adsorbeerde water per volumes vaste materiaal.

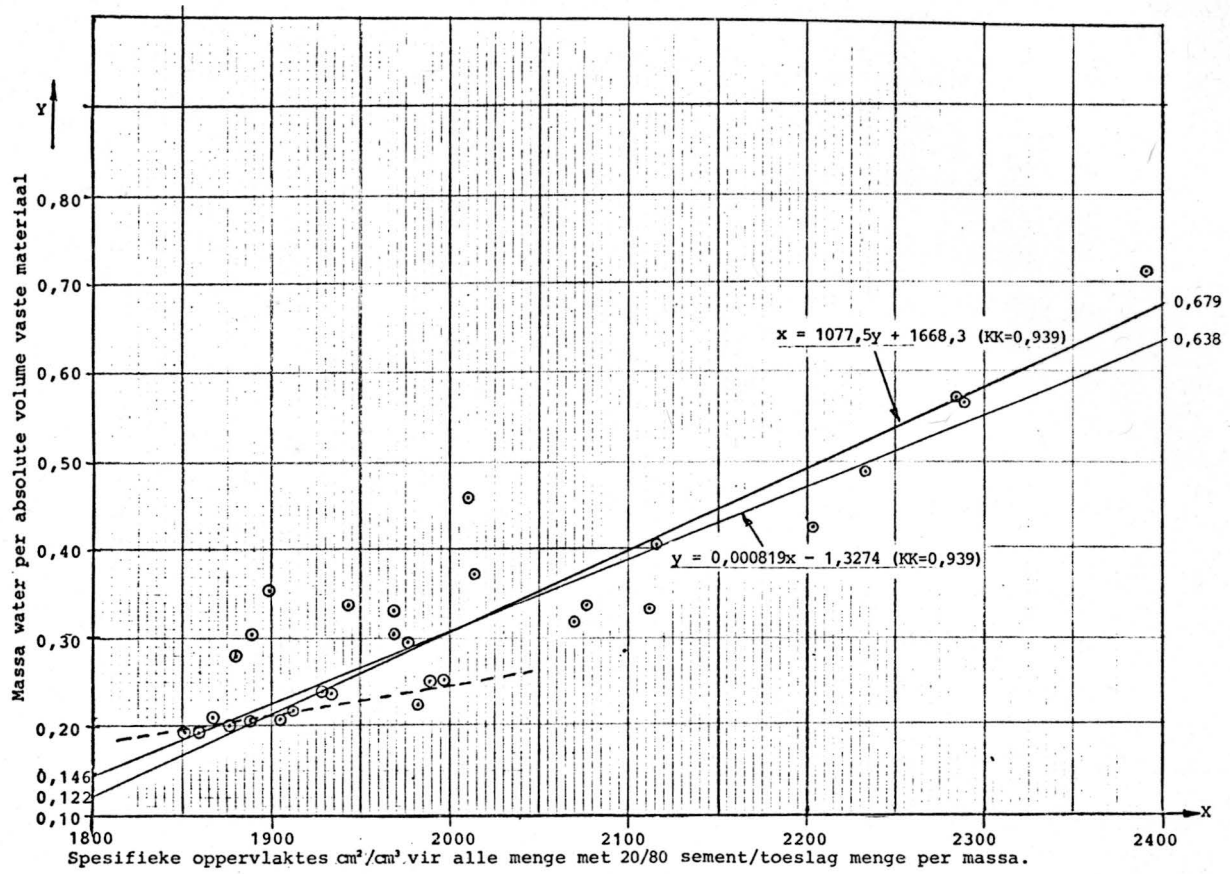


Fig. L.12: Spesifieke oppervlakte teenoor adsorbeerde water/vaste volume.



BYLAE M

Swel en Krimp kurwes van mortels met verskillende water/  
sementverhoudings van superfyn duinsand + 4,8 mm klip en  
vir growwe sand tydens verskillende siklusse van nat en  
droog.

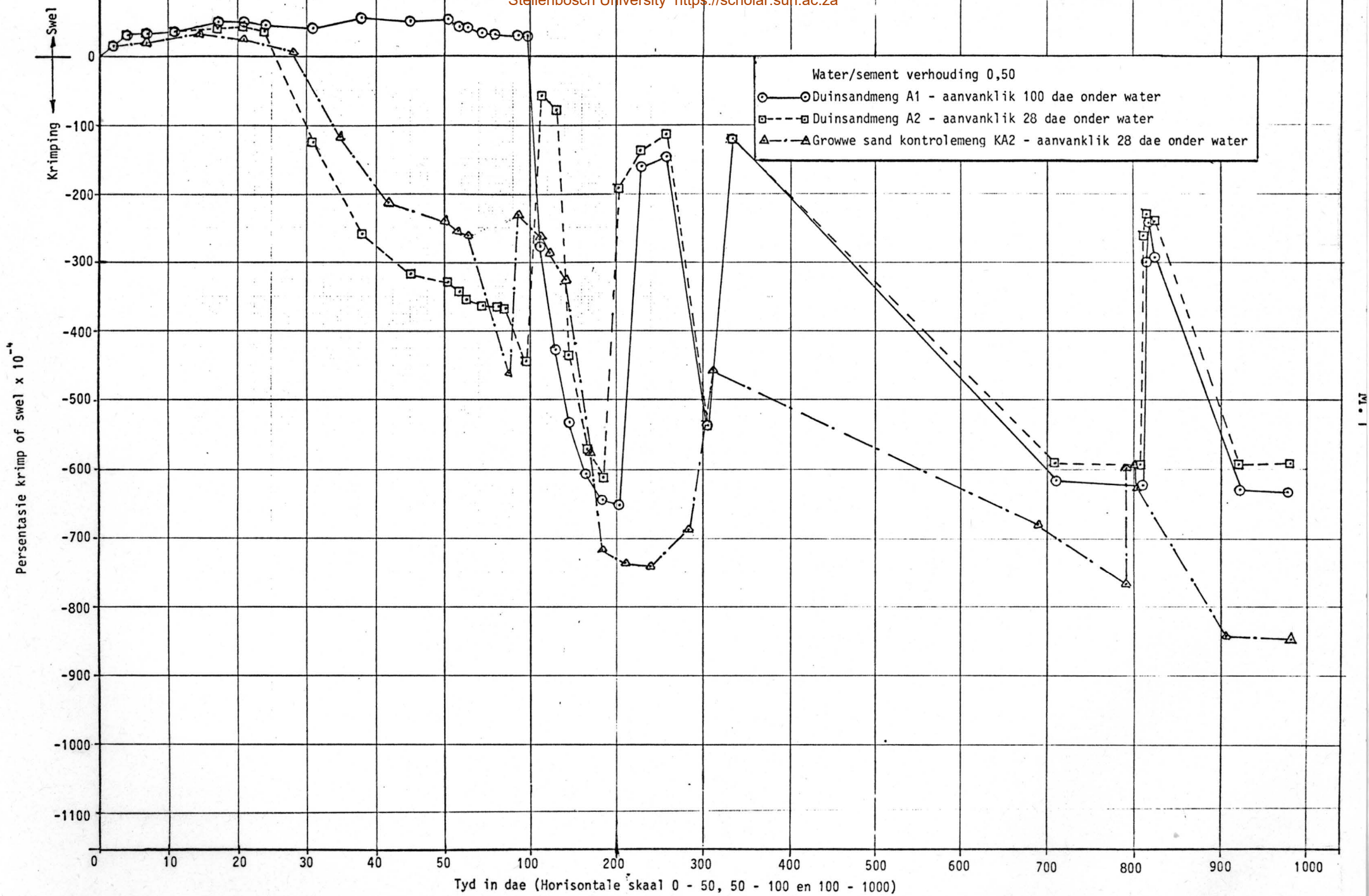


Fig. M.1: Swel en krimp van mortels met w/s = 0,50 vir duinsand en growwe sand met 4,8 mm klip.

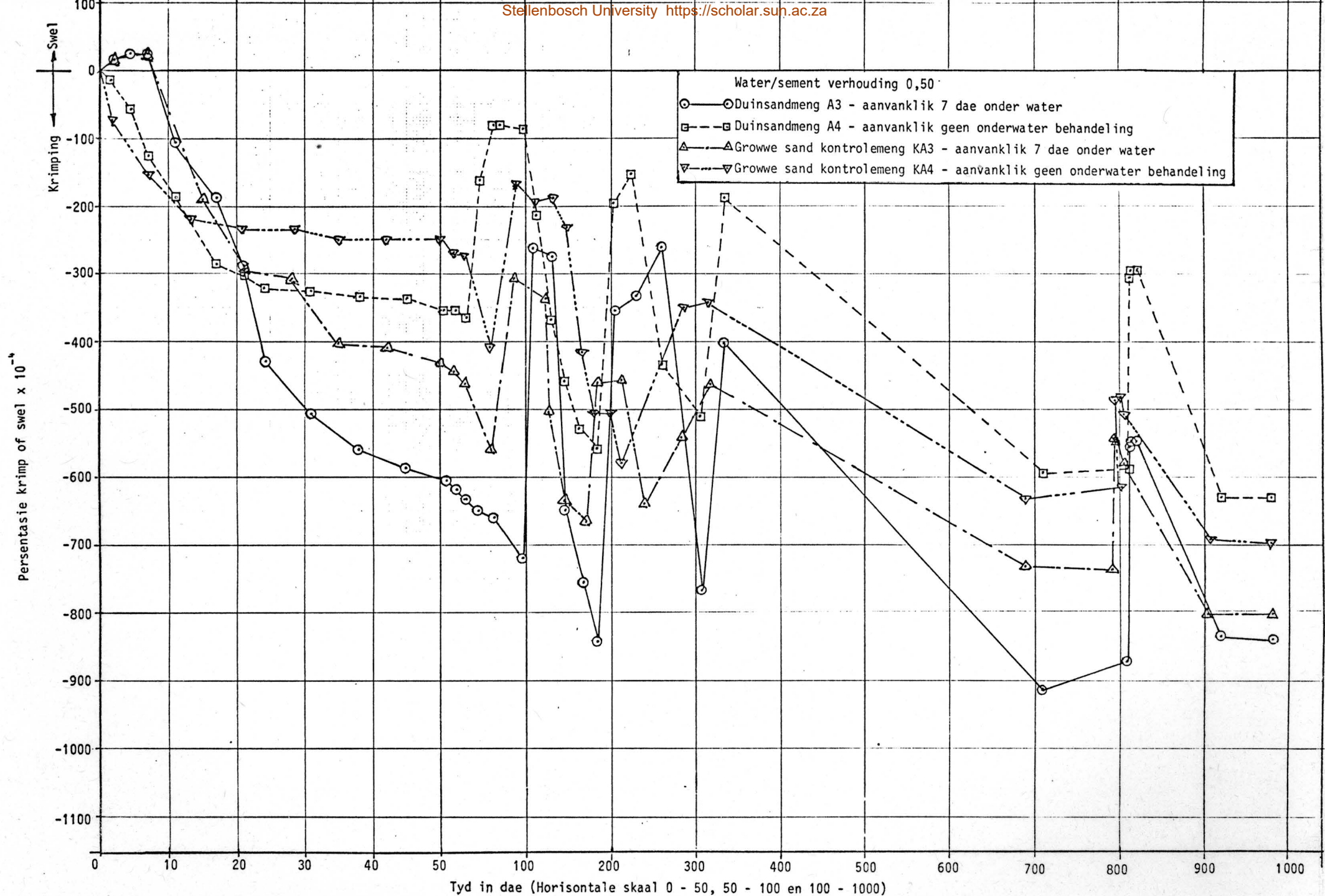


Fig. M.2: Swel en krimp van mortels met w/s = 0,50 vir duinsand en growwe sand met 4,8 mm klip.



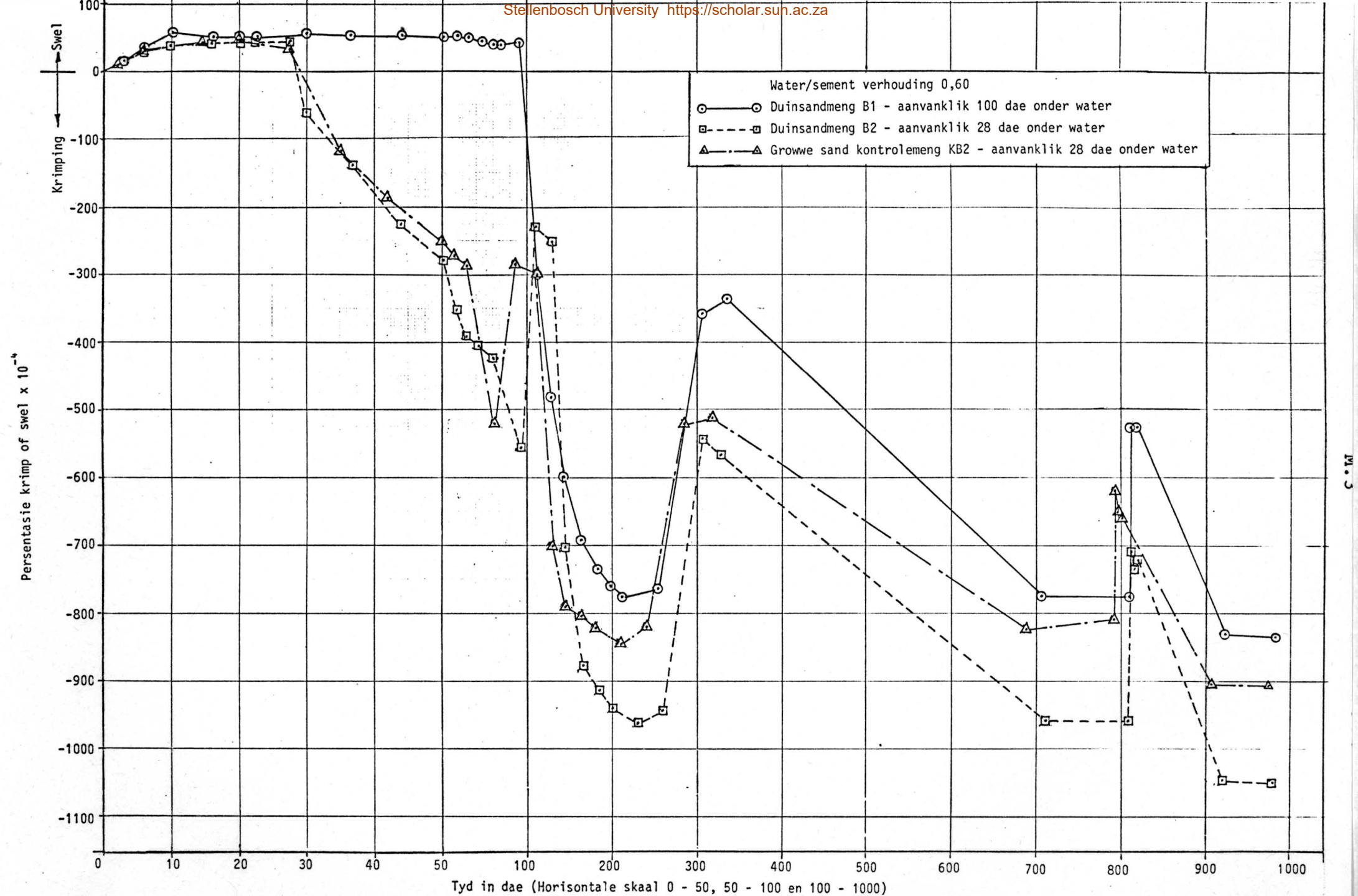


Fig. M.3: Swel en krimp van mortels met  $w/s = 0,60$  vir duinsand en growwe sand met 4,8 mm klip.

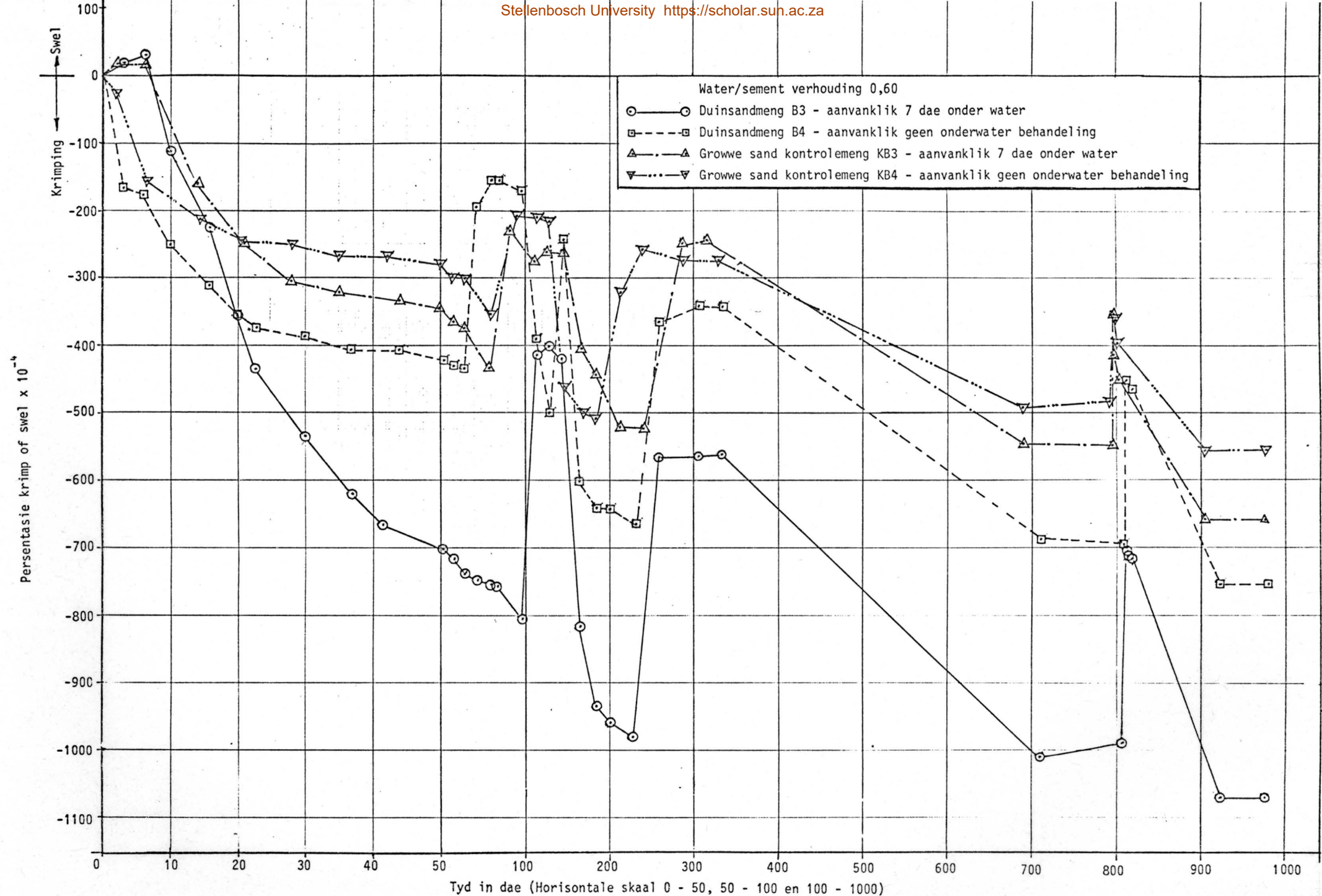


Fig. M.4: Swel en krimp van mortels met w/s = 0,60 vir duinsand en growwe sand met 4,8 mm klip.



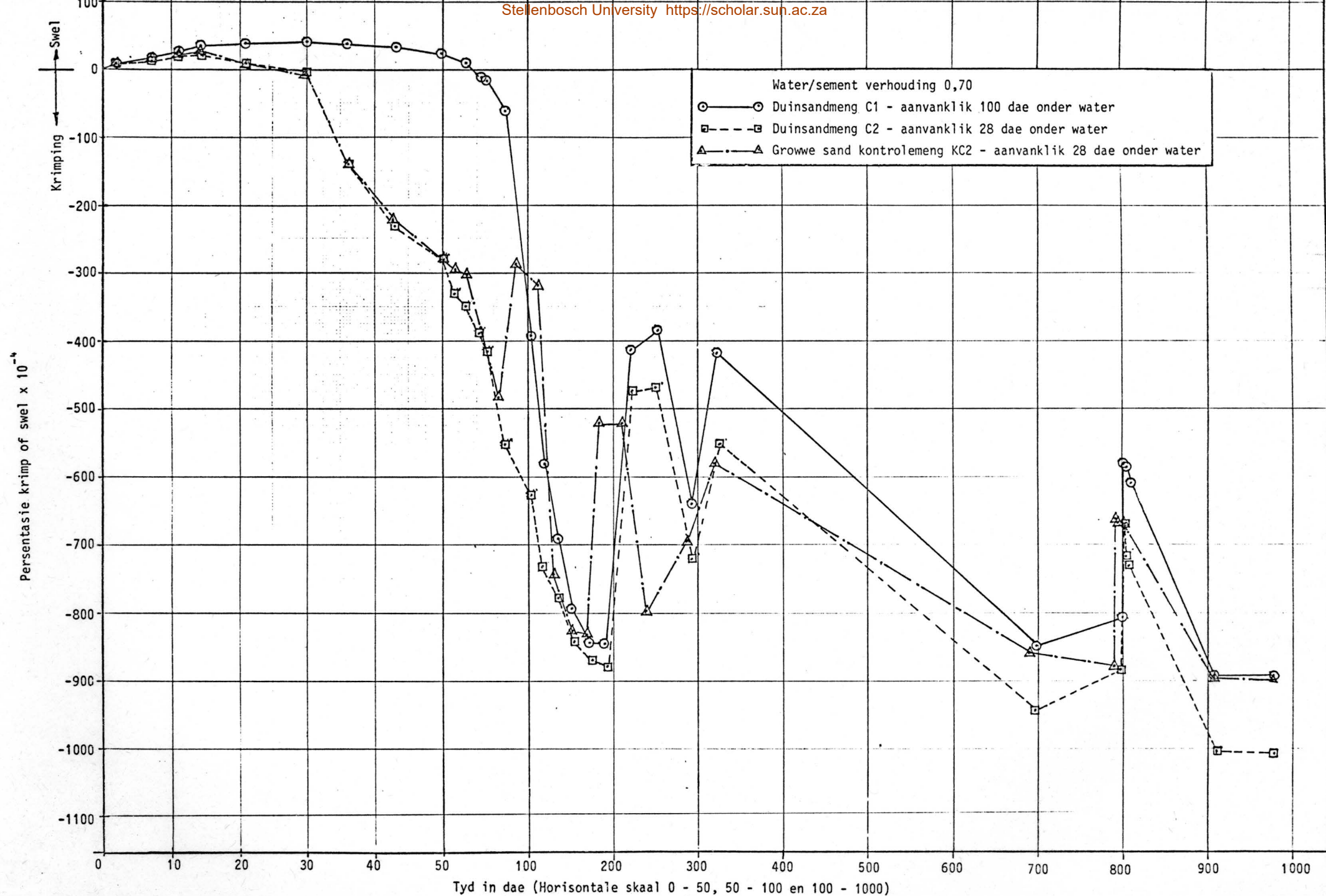
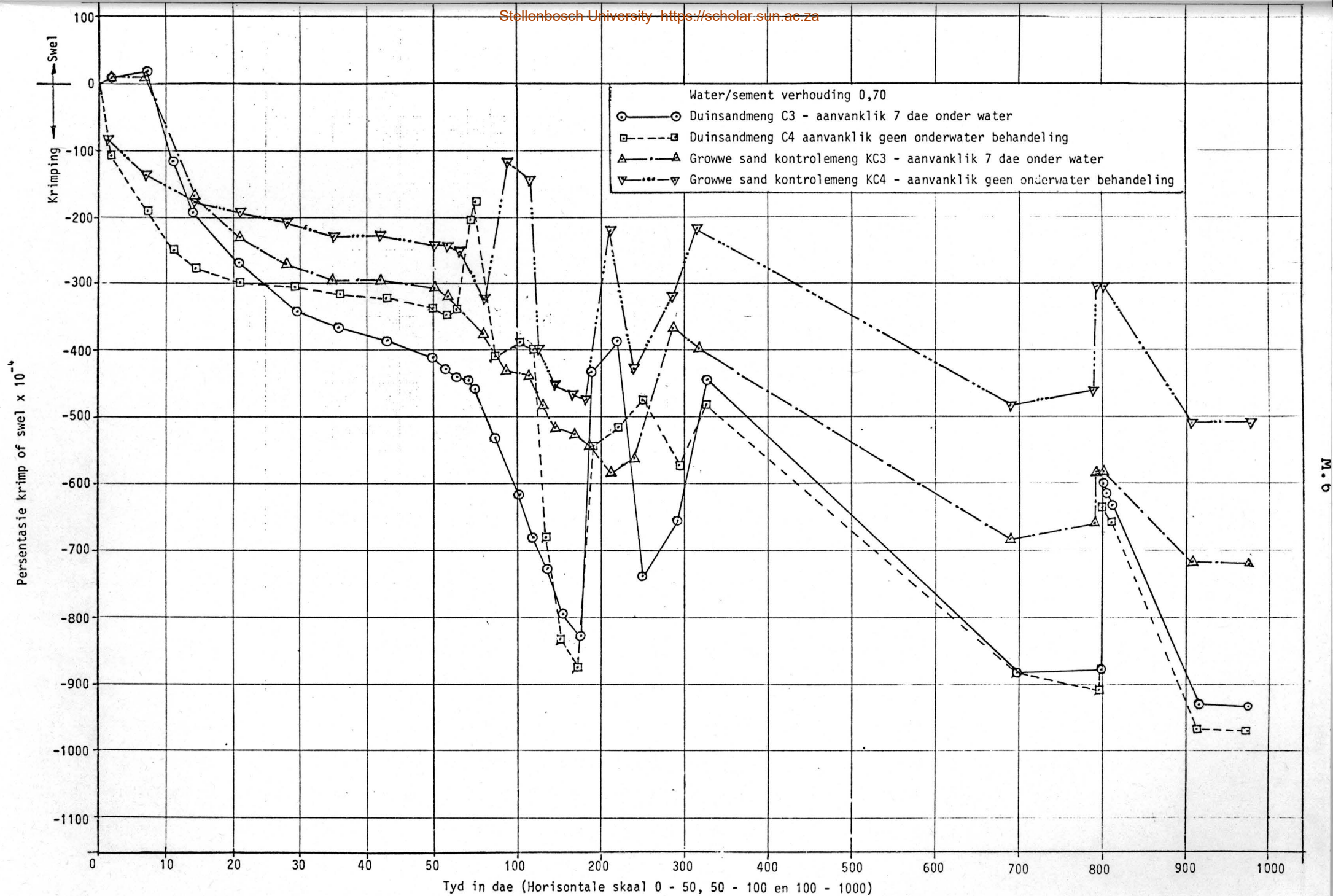


Fig. M.5: Swel en krimp van mortels met w/s = 0,70 vir duinsand en growwe sand met 4,8 mm klip.



**Fig. M.6:** Swel en krimp van mortels met  $w/s = 0,70$  vir duinsand en growwe sand met 4,8 mm klip.



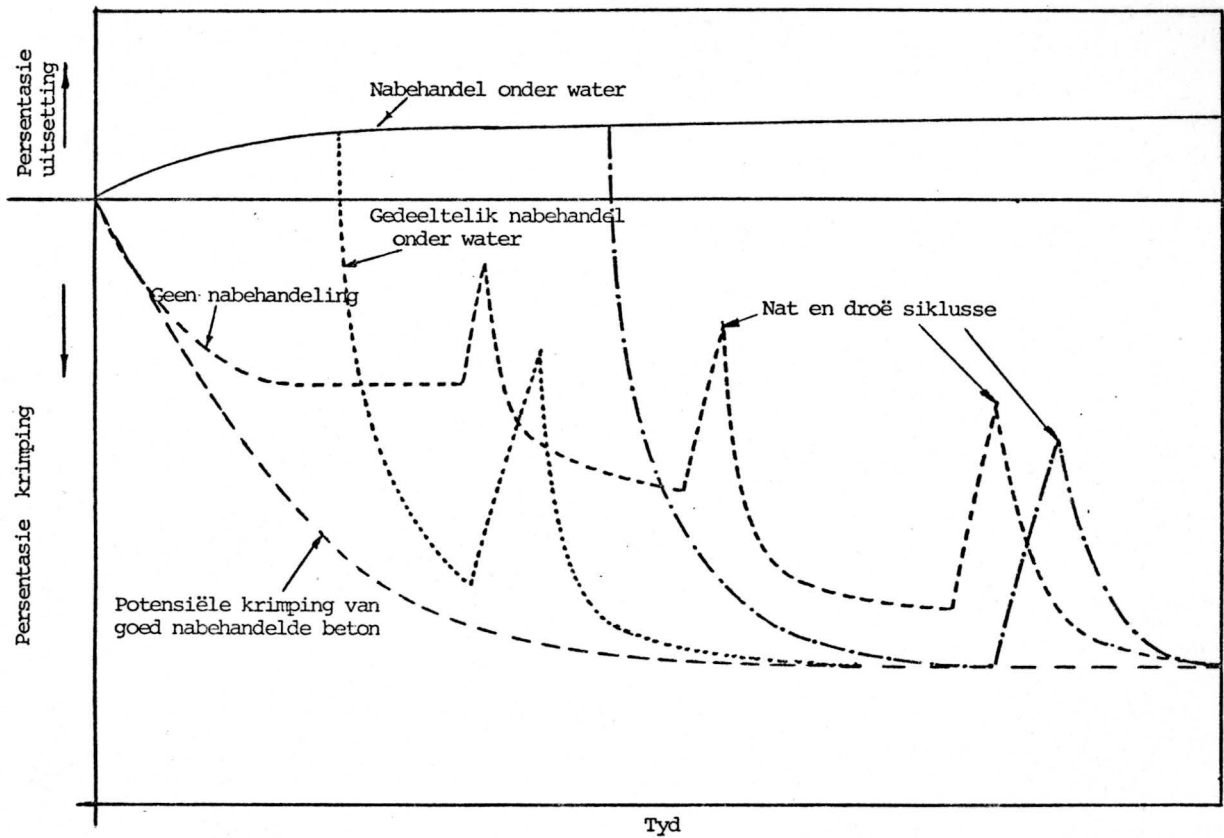


Fig. M.7 Samevattende skematiese voorstelling van uitdroogkrimp vir 'n beton met 'n w/s in die omgewing van 0,50 tot 0,60